



SOOJUSTEHNICA INSTITUUT

Soojusenergeetika õppetool

MSE70LT

Priidik Kant

**HOOLDEKODU SOOJUSVARUSTUSE
REKONSTRUEERIMISE TEHNILIS-MAJANDUSLIK
ANALÜÜS JA PROJEKT**

Magistritöö

Autor taotleb
tehnikateaduste magistri
akadeemilist kraadi

Tallinn

2015

AUTORIDEKLARATSIOON

Deklareerin, et käesolev lõputöö on minu iseseisva töö tulemus.

Esitatud materjalide põhjal ei ole varem akadeemilist kraadi taotletud.

Töös kasutatud kõik teiste autorite materjalid on varustatud vastavate viidetega.

Töö valmis..... juhendamisel

“.....”2015 a.

Töö autor

Priidik Kant allkiri

Töö vastab magistritööle esitatavatele nõuetele.

“.....”2015 a.

Juhendaja

Siim Link allkiri

Lubatud kaitsmisele.

..... õppekava kaitsmiskomisjoni esimees

“.....”2015 a.

..... allkiri

TTÜ soojustehnika instituut
Soojusenergeetika õppetool

MAGISTRITÖÖ ÜLESANNE

2015. aasta kevadsemester

Üliõpilane: Priidik Kant

Õppekava: Soojusenergeetika

Juhendaja: vanemteadur, PhD. Siim Link

MAGISTRITÖÖ TEEMA:

Eesti keeles:

Hooldekodu soojusvarustuse rekonstrueerimise tehnilis-majanduslik analüüs ja projekt

Inglise keeles: Techno-economic analysis and design for reconstruction of heat supply system of a nursing home

Lõputöös lahendatavad ülesanded:

Nr. Tutvustus

1. Tellija lähteülesanne
2. Vaadeldavate tehnoloogiate kirjeldus
3. Vaadeldavate variantide tehnilis-majanduslik analüüs
4. Projektarvutused valitud süsteemile
5. Uus projekteeritav süsteem ning selle graafiline lahendus

Lahendatavad insenertehnilised ja majanduslikud probleemid: Soojusallikate arvutuslik valik, tasuvusanalüüs päikesekollektoritele, tasuvusanalüüs pelletküttesüsteemile, tasuvusanalüüs integreeritud süsteemile, tasuvusanalüüs õhk-vesi soojuspumbale koos põlevkiviõli katlaga, projektarvutused valitud süsteemile, projekti graafiline lahendus.

Töö keel: Eesti

Kaitsmistaoitus esitada dekanaati hiljemalt 12.05.2015 **Töö esitamise tähtaeg**.....

Üliõpilane Priidik Kant /allkiri/ kuupäev.....

Juhendaja Siim Link /allkiri/ kuupäev.....

SISUKORD

Magistritöö ülesanne	3
SISSEJUHATUS.....	7
1. TÖÖ EESMÄRK JA LÄHTEÜLESANNE.....	8
2. UUE SOOJUSVARUSTUSSÜSTEEMI VALIKU ALUSED	9
2.1 Soojusallikate arvutuslik valik	9
3. VAADELDAVATE TEHNOLOOGIATE KIRJELDUS	11
3.1 Päikesekollektorite kasutamine hoone soojusvarustuses	11
3.1.1 Päikesekollektorite poolt toodetava soojuse arvutamise meetodika.....	16
3.1.2 Päikesekollektorite valikukriteeriumid	18
3.1.3 Päikesekollektorite kasutamine tarbevee soojendamiseks	19
3.2 Pelletküttesüsteemi kirjeldus.....	23
3.2.1 Pelletkütus	23
3.2.2 Pelletite põletussüsteem	25
3.2.3 Pelletipõleti.....	25
3.2.4 Katla CS Marina üldkirjeldus.....	26
3.3 Õhk-vesi soojuspumba kasutamine hoone soojusvarustuses	28
3.3.1 Õhk-vesi soojuspumba valikukriteeriumid	29
4. VAADELDAVATE VARIANTIDE TEHNILIS-MAJANDUSLIK ARVUTUS.....	31
4.1 Päikesekollektorite süsteemi tasuvusanalüüs	31
4.1.1 Tasuvusaeg lamekollektorite korral	31
4.1.2 Tasuvusaeg vaakumtorukollektorite korral.....	32
4.2 Tasu analüüs ainult pelletikatlamaja korral.....	33
4.3 Integreeritud päikesekollektorite süsteemi ja pelletikatlamaja tasuvusanalüüs	34
4.4 Tasuvusanalüüs õhk-vesi soojuspump koos olemasoleva põlevkiviõli katlaga.....	37
4.5 Tehnilis-majandusliku analüüsi tulemused	38
5. PROJEKTARVUTUSED JA SÜSTEEMIDE VALIK.....	40
5.1 Päikesekollektorite valik antud hoonele.....	40
5.2 Katla valik antud hoonele.....	42
5.3 Kütuse ladustamine (kütusemahutite suuruse valik).....	43
6. UUS PROJEKTEERITAV SÜSTEEM JA SELLE KOMPONENDID	44
6.1 Päikesekollektorite süsteem	44

6.2 Pelletküttesüsteem.....	46
6.2.1 Valitud katlad ja nende tehnilised näitajad ning parameetrid	47
6.2.2 Paigaldatav kütusepunker katlamaja kõrval	48
6.2.3 Paigaldatav kütuse vahemahuti katlaruumis	49
6.2.4 Kütuse etteandesüsteem	50
6.2.5 Põlemiseks vajalik õhk.....	51
6.2.6 Suitsugaaside süsteem ja korsten	53
6.2.7 Katlamaja hüdraulika ja torustik	56
6.2.8 Plahvatuspind	58
6.2.9 Ohutusseadmed ja tuleohutus.....	58
6.2.10 Paigaldatava süsteemi toed ja kinnitused	59
6.2.11 Reguleerimis- ja automaatikaseadmed.....	59
6.2.12 Katlamaja torustiku isoleerimine	60
6.3 Integreeritud süsteemi koostoimimine	60
6.5 Projekteeritud süsteemi graafiline osa.....	61
KOKKUVÕTE.....	62
SUMMARY	63
KASUTATUD ALLIKAD.....	64
LISAD	69
Lisa 1. Kütuse plaan	69
Lisa 2. Katlaruumi põhiplaan	70
Lisa 3. Lõige 1-1	71
Lisa 4. Lõige 2-2	72
Lisa 5. Soojussõlme skeem	73
Sele 2.1. Hoone soojuskoormusgraafik.....	10
Sele 3.1. Lamekollektori stiliseeritud läbilõige.....	12
Sele 3.2. Roth Heliostar 252 läbilõige.....	14
Sele 3.3. Vaakumtoru lihtsustatud tööpõhimõte	16
Sele 3.4. Lame- ja vaakumtorukollektorite kasuteguri sõltuvus temperatuuride vahest.....	17
Sele 3.5. Ühe Roth Heliostar 252 kollektori soojuse toodang apertuurpinna kohta aastas.....	20
Sele 3.6. Ühe Sunrain TZ58/1800 24 kollektori soojuse toodang apertuurpinna kohta aastas.....	21
Sele 3.7. Päikesekollektorite poolt toodetav soojus ja sooja tarbevee vajadus.....	22

Sele 3.8. Puidugraanulid ehk pelletid.....	24
Sele 3.9. Pelletikatlamaja põhimõtteskeem.....	25
Sele 3.10. CS Marina läbilõige.....	28
Sele 3.11. Õhk-vesi soojuspumba Alpha-Innotec LW 310 soojusteguri ja võimsuse sõltuvus välisõhutamperatuurist	29
Sele 3.12 Õhk-vesi soojuspumba bivalentpunkt soojuskoormusgraafikul.....	30
Tabel 4.1. Vaadeldavate variantide soojuse maksumus.....	39
Sele 6.1. Valitud kütusepunker Mafa Outdoor modularsilo-B.....	49
Sele 6.2. Valitud kütuse vahemahuti OPOP TANKDK-K.....	50
Sele 6.3 Tigutransportöör katla ja kütusemahuti vahel	51
Tabel 6.1. Väljavõte puitpelletite laboratoorsest analüüsist.....	52

SISSEJUHATUS

Käesoleva töö eesmärgiks oli välja töötada Viljandi maakonnas paikneva hooldekodu soove rahuldav soojusvarustuse rekonstrueerimise lahendus ja koostada soojusvarustussüsteemi põhiprojekt. Hooldekodu täpne nimi ja asukoht jääb osapoolte soovil konfidentsiaalseks.

Töö autor töötab ettevõttes OÜ Energiapartner ning tegeles antud projekti raames hoone soojusvarustussüsteemi projekteerimisega, tehniliste jooniste koostamisega ning erinevate soojustehniliste lahenduste väljatöötamisega.

Käesolevas magistritöös on autor kasutanud ka enda poolt varasemalt koostatud bakalaureusetööd, kust on kasutatud peatükke 2, 3 ja 5.

Töö on tinglikult jaotatud ära viieks osaks. Esimene osas on välja toodud töö üldine eesmärk antud projektile ning tellija lähteülesanne. Teises osas kirjeldatakse võrduses olevaid süsteeme. Kolmas osa toob välja vaadeldavate variantide tehnilis-majandusliku analüüsi, mis on käesoleva projekti koostamise ning süsteemide valiku aluseks. Neljas osa sisaldab projektarvutusi ja süsteemide valikut. Viiendas osas kajastub soojusvarustussüsteemi projekt koos jooniste ja graafiliste lahendustega.

Tehnilis-majandusliku analüüsi osas on autor võrrelnud tellija sooviga kooskõlas olevaid variante soojusvarustussüsteemi rekonstrueerimiseks. Analüüsi käigus selgitati välja, millise soojusallika kasutamine annab odavaima soojuse hinna ning on tehnilis-majanduslikult kõige optimaalsem. Soojusvarustussüsteemi põhiprojektis kajastus autori poolt välja töötatud insenertehniline lahendus toimiva süsteemi jaoks.

1. TÖÖ EESMÄRK JA LÄHTEÜLESANNE

Antud töö on koostatud Viljandi maakonnas paikneva hooldekodu omaniku tellimusel, mille ülesandeks on viia läbi hoone soojusvarustussüsteemi rekonstrueerimisprojekt, et vahetada välja tehniliselt amortiseerunud soojusallikas. Olemasolev soojusvarustus (hoone küte ja tarbevee soojendamine) baseerub ühel põlevkiviõlil töötaval katlal. Uue soojusvarustussüsteemi valiku aluseks on tellija soov kasutada:

- Taastuvate energiaallikate poolt genereeritavat soojust.
- Mugavat ja automatiseeritud põletustehnoloogiat.

Soojusvarustussüsteemi rekonstrueerimise põhjused on järgmised:

- Alandada soojuse hinda.
- Amortiseerunud õlikatla tööressursi lõppemine.

Tellijal poolt on ette antud lähteandmed, mis on aluseks võetud projekti koostamisel:

- Hooldekodu soojuse kulu – 580 MWh.
- Sooja tarbevee vajadus – 4,6 m³ ööpäevas. [1], [2]

2. UUE SOOJUSVARUSTUSSÜSTEEMI VALIKU ALUSED

2.1 Soojusallikate arvutuslik valik

Soojusallikate arvutusliku valiku aluseks on tellija poolt ette antud lähteandmed. Hoone kogu soojuse kulu on 580 MWh/a. See hõlmab nii kütet kui ka tarbevee soojendamist.

Hoone vajaliku küttekoormuse leidmiseks on koostatud hoone soojuskoormusgraafik. Graafiku alusel on leitud hoone soojuslik maksimumvõimsus, mida kajastab Sele 2.1. [4], [5]

Hoone hinnanguline maksimaalne soojuslik võimsus on 257 kW.

Tellija poolt etteantud sooja tarbevee ööpäevase kulu järgi leitakse aastane soojuse vajadus tarbevee soojendamise jaoks.

Tarbevee soojendamiseks vajaminev energiahulk:

$$Q = c \cdot m \cdot (t_{sv} - t_{kv}), \quad (2.1)$$

kus Q – tarbevee soojendamiseks vajaminev energiahulk (J),

c – vee erisoojus (J/(kg*K)),

m – vee mass (kg),

t_{sv} – vee lõpptemperatuur (°C),

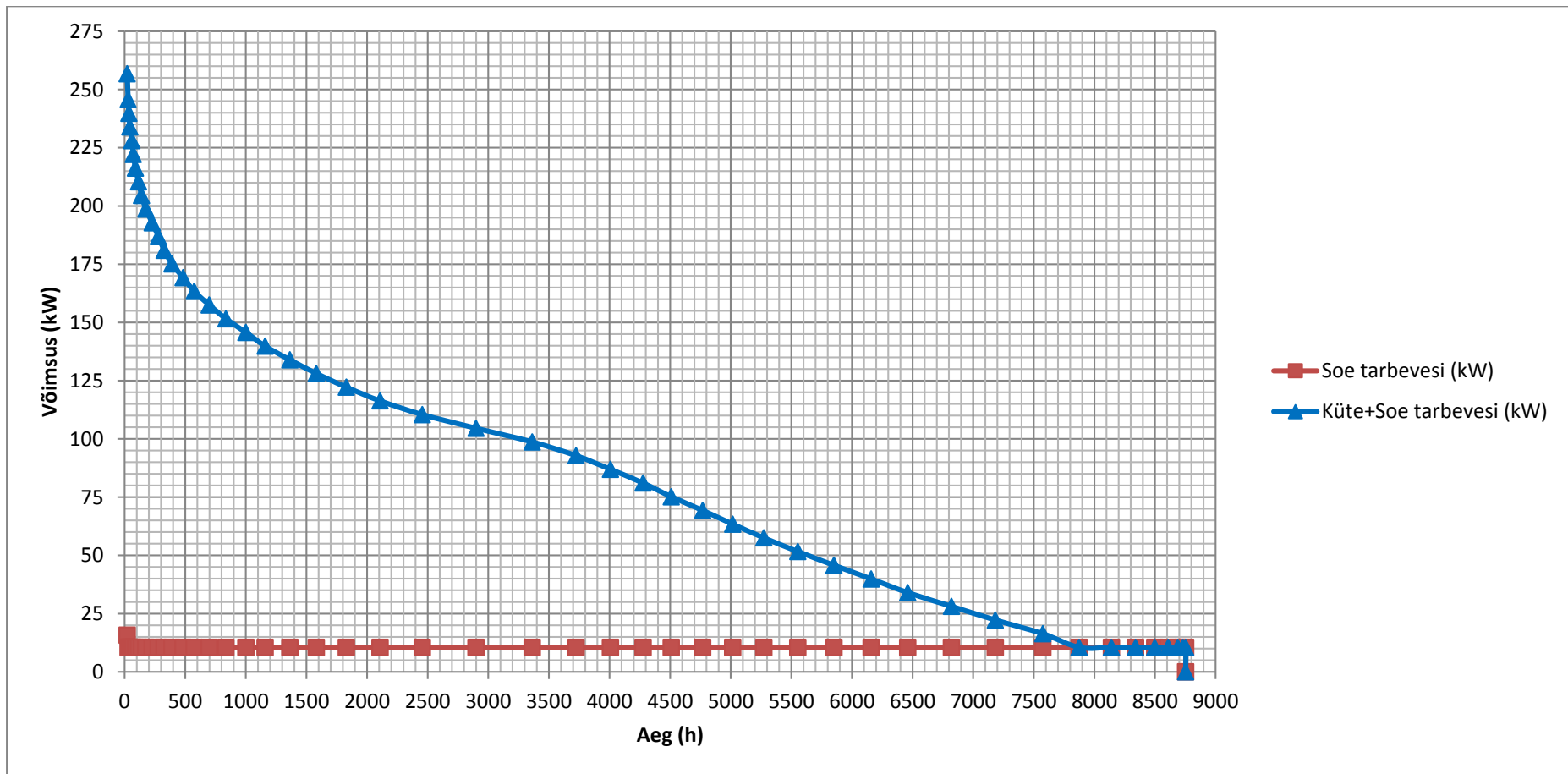
t_{kv} – vee algtemperatuur (°C).

Vee erisoojus on 4187 J/(kg*K), sooja vee temperatuur on võetud 55 °C, külma vee temperatuuriks on võetud 8 °C. [6]

Sooja tarbevee vajadus on 4,6 m³ ööpäevas. Seega kulub aastas sooja vett kokku 1679 m³. 1 m³ vee mass on 1000 kg. Vee mass on kokku 1679000 kg. [7]

$$Q = 4187 \frac{J}{kg \cdot K} \cdot 1679000 \text{ kg} \cdot (55^\circ C - 8^\circ C) = 330408731000 \text{ J} \cong 91780 \frac{kWh}{a} \quad (2.2)$$

Eelnevalt leitud hoone soojusliku võimsuse ning tarbevee soojendamiseks vajamineva energiahulga alusel koostatakse tehnilis-majanduslik analüüs vaadeldavatele variantidele, et teha uute soojusallikate lõplik valik.



Sele 2.1. Hoone soojuskoormusgraafik

3. VAADELDAVATE TEHNOLOOGIATE KIRJELDUS

Vaadeldava hoone uue soojusvarustussüsteemi valikul tuleb lähtuda tellija poolt püstitatud lähteülesandest, tellija poolt antud lähteandmetest ning hoone tüübist ja selle omadustest.

Vastavalt tellija nõudmistele on projekteerija võtnud valikusse neli erinevat varianti, mille seast valitakse välja kõige optimaalsem. Kõik neli valitud varianti on kooskõlas tellija sooviga.

Võrdluses on järgmise variandid:

- Päikesekollektorid.
- Pelletikatlamaja.
- Integreeritud süsteem päikesekollektorite ja pelletikatlamajaga.
- Õhk-vesi soojuspump koostöös olemasoleva põlevkiviõli katlaga.

Järgnevalt on antud valikus olevate variantide ja tehnoloogiate kirjeldus.

3.1 Päikesekollektorite kasutamine hoone soojusvarustuses

Päikesekiirgusel põhineva hoone kütmise saab jagada kaheks: passiivne päikeseküte ja aktiivne päikeseküte. Passiivne päikeseküte seisneb selles, kui päikesekiirgus soojendab hoone konstruktsioonelemente või ruumides olevaid esemeid. Aktiivse päikesekütte korral kannab läbi päikesekollektorite pumbatav või puhutav soojuskandja soojuse soojusvahetisse või soojussalvestisse ning nende kaudu keskkütte- või tarbevee soojendamise süsteemi. [9], [10], [12], [13], [14], [15]

Käesolevas hoone kontekstis vaadeldakse aktiivset päikesekütet ehk kollektorite rakendamist.

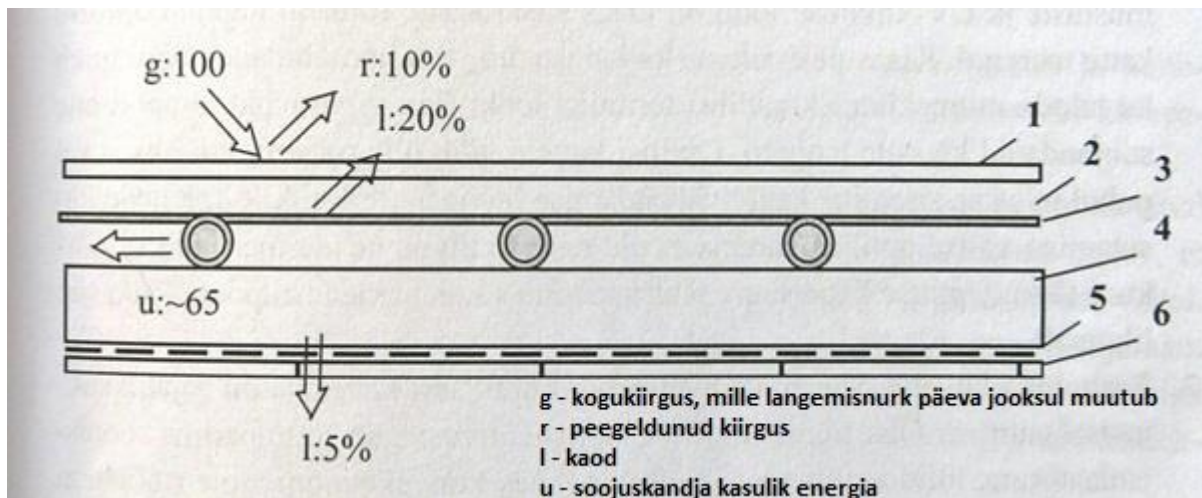
Kõige levinumateks päikesekollektorite tüüpideks Eestis on lamekollektorid ja vaakumtorukollektorid. [16]

Lamekollektori tööpõhimõte seisneb selles, et päikesekiirgus läbib kollektori pinnal oleva läbipaistva katteplaadi ning langeb tumedale pinnale. Seda nimetatakse absorbeerivaks pinnaks. See pind on ühenduses torudega, kus voolab soojuskandja. Päikesekiirgus kantakse soojusena üle soojuskandjale, mis omakorda transpordib soojuse tarbimisse või akumulatsioonipaaki. [11] [17]

Lamekollektori erinevused võrreldes vaakumtorukollektoriga on järgnevad: [18]

- Kollektori omahind ja paigaldus on odavamad.
- Kollektori efektiivsus on madalam.
- Lihtsam puhastada.

Lamekollektori ehitus on kihiline. Selel 3.1 on kujutatud lamekollektori läbilõige ning on kujutatud ka orienteeruvaid energiavoogude osakaale protsentuaalselt (g; r; l; u). Tegelikult sõltuvad need konkreetsest olukorrast ning on päeva jooksul muutuvad. [20]



Selel 3.1. Lamekollektori stiliseeritud läbilõige [19]

Konveksioonist tingitud kadu välisõhku ning kiirguse ja soojusjuhtivuse kombineeritud kadu absorberi ja klaasi vahel sõltub olulisel määral tuule kiirusest. Läbi tagumise seina on kaod määratud isolatsiooni soojusjuhtivuse ja konveksiooniga välisõhku. Läbi külgsainte on soojuskaod suhteliselt väikesed. [20]

Selel 3.1 on kollektori kihid nummerdatult ja jagunevad järgnevalt alustades päikesepoolsest kihist: [20]

- 1) Optiline kate – 3-5 mm paksune spetsiaalselt tugevdatud klaas, mille ülesandeks on sisemuse kaitsmine tolmu, sademete ja muude väliskeskkonna mõjude eest. Samuti on selle ülesandeks absorberi konveksiooni takistamine. Klaasi puhul on vajalik selle eelnev karastamine, sest hoovihmade puhul tuleb sellel taluda termilisi lööke. Optilise katte materjalidena on kasutusel ka mitmekihiline läbipaistev õhukanalitega

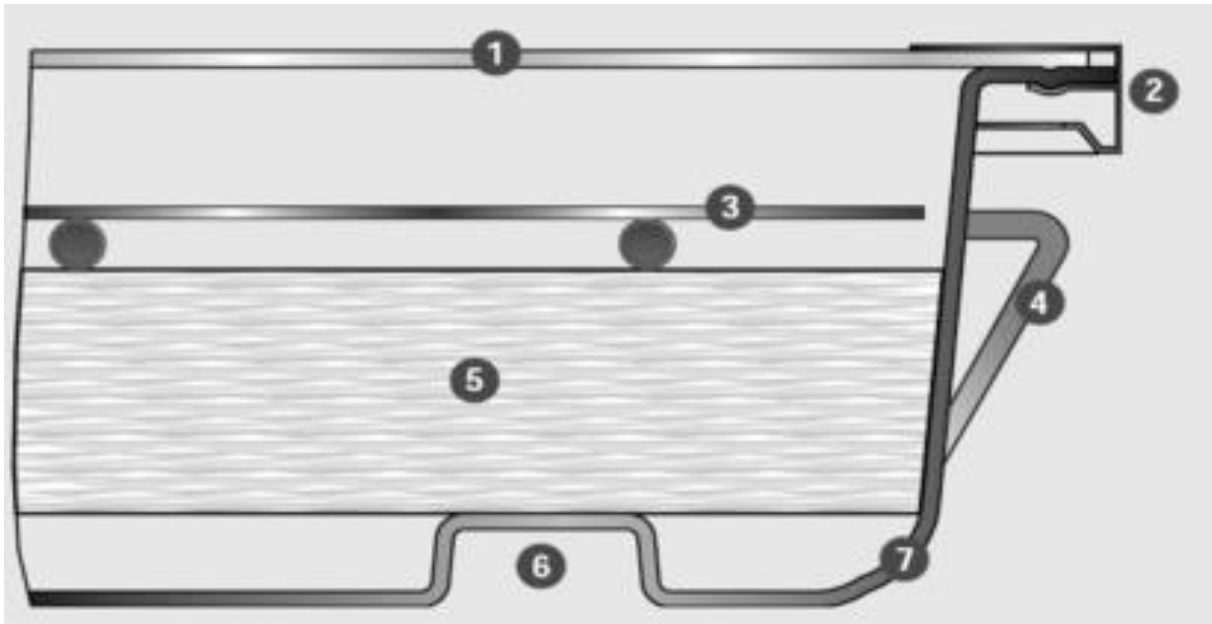
polükarbonaatplastik. Siiski on sellel väike ultraviolettkiirguse kindlus ning on ka vastuvõtlikum kriimustustele ja kahjustustele. Kui optilisi katteid on rohkem kui üks, siis kasutatakse sisemise kattena teflonkilet. Mehaanilise nõrkuse tõttu ei ole otstarbekas välise kattena kilet kasutada.

- 2) Pealmine õhuvähe – eraldab optilist katet absorberist ning on vajalik soojusisolaatorina. Õhk on madala soojusjuhtivusteguri tõttu üks parimatest soojusisolaatoritest. Õhuvähe jäetakse alla 20 mm, et ei tekiks konvektsioonivoolusid.
- 3) Absorber – päikesekiirguse muundurina toimib must matt pind ning selle ülesandeks on ka tekkiva soojuse ülekandmine soojuskandjale.
- 4) Alumine soojusisolatsioon – tähtis on soojustada ka alumine külg, sest soojus levib kõikides suundades. Selle valmistamine on lihtsam, sest alumisel küljel ei ole vaja optilist läbipaistvust. Reeglina kasutatakse 40-60 mm paksust kihti, mille soojusisolatsioonimaterjalina võib kasutada kivivilla, klaasvilla või vahtpolüuretaani. Isolatsioonimaterjal peab taluma suhteliselt kõrgeid temperatuure, sest avariisituatsioonis võib absorberi temperatuur tõusta kuni 200 °C.
- 5) Peegel – vajalik infrapunase kiirguse tagasisuunamiseks. Kollektori põhi kaetakse sageli stanniolikihiga (tinafoolium).
- 6) Põhi – kollektori konstruktsioonelement, mis ühendab küljeraami ja hoiab kollektorit koos. Valmistatakse see alumiiniumist, plastist või veekindlast vineerist.
- 7) Joonisel näitamata küljeraam peab olema sedavõrd tugev, et tagada kollektori piisav jäikus nii transpordi kui ka montaaži vältel. Küljeraam isoleeritakse 20-30 mm isolatsioonimaterjali kihiga. Küljeraame valmistatakse üldjuhul alumiiniumist või töödeldud puidust. [20]

Järgnevalt on näitena toodud ühe lamekollektori Roth Heliostar 252 omadused ning läbilõige.

Roth Heliostar 252 omadused: [40]

- Ümbritsetud polükarbonaadist kestaga, mis tagab mehaanilise vastupidavuse, kõrge temperatuuritaluvuse, ultraviolettkiirgusekindluse ning korrosioonikindluse.
- Väike mass (35 kg).
- Täiustatud absorbeeriv pind – valmistatud toonitud eriklaasist ja turvaklaasist, mis tagavad parema tootlikkuse ka vähema päikesekiirguse korral.



Sele 3.2. Roth Heliostar 252 läbilõige [40]

Selel 3.2 on näha lamekollektori Roth Heliostar 252 läbilõige, kus: [40]

- 1) Suure (91 %) päikesekiirguse läbilaskevõimega turvaklaas.
- 2) Pöörlev alumiiniumist profiiltihend.
- 3) Absorbeeriv pinnakate.
- 4) Paigaldusdetailid.
- 5) Isolatsioonikiht (60 mm).
- 6) Paigaldusdetail.
- 7) Polükarbonaadist kollektori ümbris.

Vaakumtorukollektoris „püüavad“ päikesekiiri topelt klaasiga vaakumtorud. Kollektor koosneb alusraamist, vaakumtorudest ja soojustorudest. Viimased on vaakumtorukollektori peamiseks tööorganiks. [22]

Soojustoru on suuteline juhtima suuri soojusvoogusid kasutades selleks ära soojuskandja faasimuutuse soojuse. Teda võib vaadelda kui 10 000 W/m²*K-e efektiivse soojusjuhtivusteguriga varrast. Soojustoru on ligi 30 korda suurema soojusjuhtivusega kui samade mõõtmetega vasktoru. Soojustoru jaguneb kolmeks tsooniks: [21]

- 1) Aurustustsoon – toru võtab väliskeskkonnast vastu soojust ning sellele järgneb soojuskandja aurustumine.
- 2) Transportitsoon – koosneb toru keskel paiknevast aurukanalist ja toru seina sisepinnale kujundatud kapillaarpoorsest vedelfaasikanalist. Sellisel juhul toimub

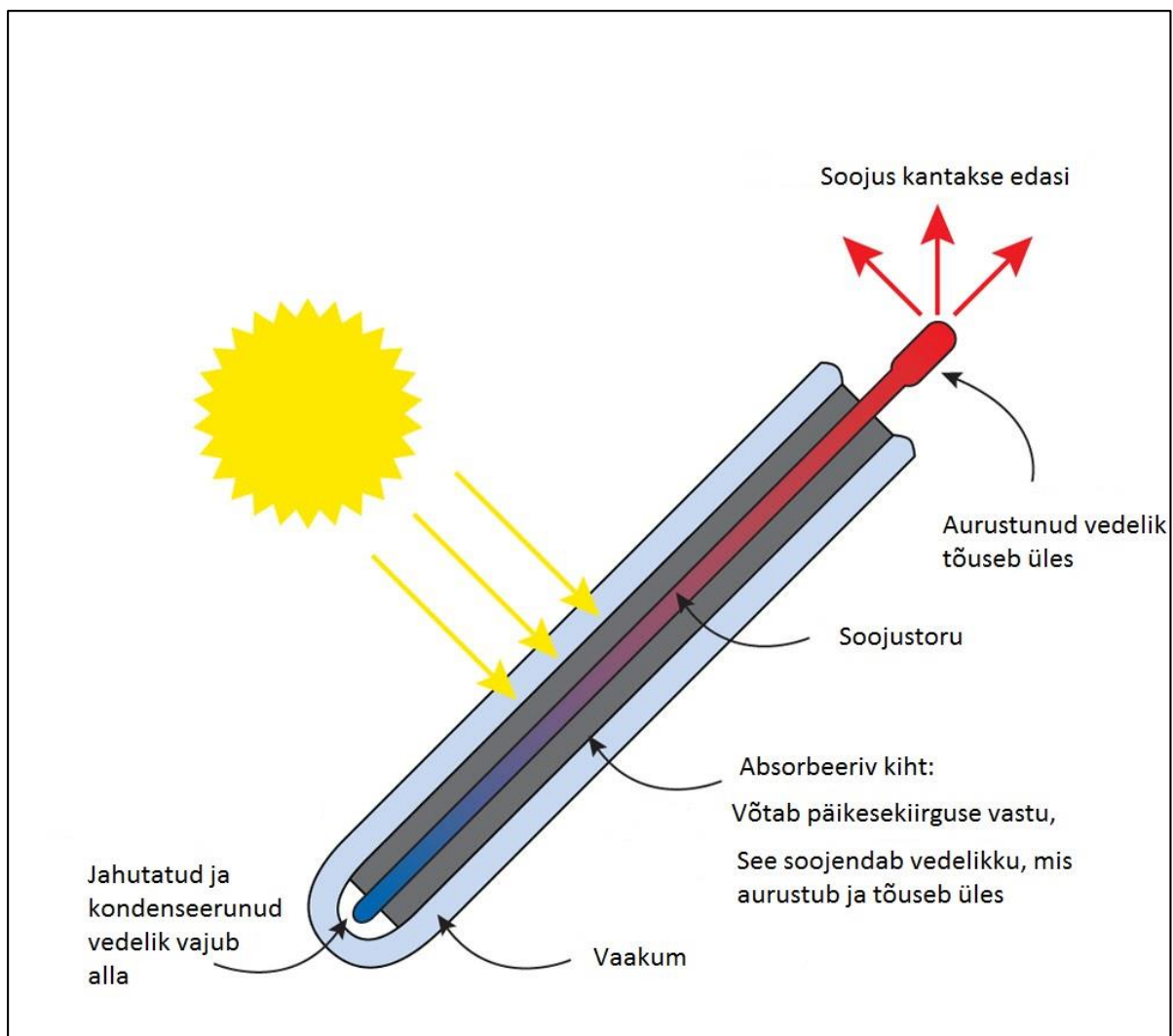
soojuskandja transport tahi abil. (Saab kasutada ka termosifoontoru, kus soojuskandja transport toimub gravitatsioonijõudude abil). Taht on kapillaarpoorne materjal, mis juhib vedelikku.

- 3) Kondensaator – aurustunud soojuskandja kondenseerub välise jahutuse toimel. Kondensaatoritsooni paigaldatakse tavaliselt ka töötemperatuuri või ülekantavat võimsust reguleeriv seade. [21]

Soojustoru soojuskandja koostis valitakse vastavalt töötemperatuurile. Selleks on tavaliselt vesi. Eesti kliimas tuleb madala välistemperatuuri tõttu kasutada mingit vee baasil tehtud vedelikku. [22]

Vaakumtorukollektori tööpõhimõte seisnebki selles, et soojuskandja aurustub Päikese poolt kuumutatavas otsas ning kondenseerub toru teises otsas, kus seda jahutatakse kollektori kontuuris ringleva veega või vee-glükooli lahusega. Vastavalt eelnevalt kirjeldatud soojustoru tööpõhimõttele, voolab kondenseerunud soojuskandja tagasi kuumutatavasse otsa ning protsess algab uuesti. Soojusülekanne toimub vaakumtorus ainult kindlas suunas. [22], [23]

Vaakumtoru koosneb kahest üksteise sees olevatest otstest kokku sulatatud klaastorudest. Nende vahele on tekitatud vaakum. Klaastoru sisepinnal asub kiirgust neelav ning peegeldumisvastase toimega kattedkiht, mis muundab päikese kiirguse soojuseks ning kannab selle üle soojustorule. Sellega tagatakse vaakumtoru suur efektiivsus. Soodustamiseks süsteemi toimimist ka pilves ilmaga, on vaakumtoru varustatud infrapunast kiirgust läbilaskva kihiga. Materjali valikus kasutatakse borosilikaatklaasi, mis on ilmastikukindel ja peab vastu näiteks nii peale kukkuvatele puuokstele kui ka rusikasuurustele raheteradele. [22], [23]



Sele 3.3. Vaakumtoru lihtsustatud tööpõhimõte [24]

3.1.1 Päikesekollektorite poolt toodetava soojuste arvutamise meetodika

Antud töös kasutatakse päikesekollektorite poolt toodetava soojuste arvutamiseks organisatsiooni ESTIF (European Solar Thermal Industry Federation) poolt loodud sertifitseerimissüsteemi The Solar Keymark ning Jan Erik Nielsen'i poolt välja töötatud arvutusprogrammi.

The Solar Keymark loodi selleks, et kindlustada kõrge kvaliteet päikeseenergiast soojust genereerivatele seadmetele ning kaubanduslike barjääride vähendamiseks Euroopa turul. Kvaliteedimärk, mille The Solar Keymark päikesekollektorile annab, vastab Euroopa

standarditele EN 12975 ja EN 12976. Laboreid, kus vastavad testid tootlikkuse leidmiseks kasutatavate parameetrite kindlakstegemiseks tehakse, toetab ka Euroopa Komisjon. [27]

Arvutuste aluseks on järgnev valem, mis iseloomustab päikesekollektori tootlikkust: [28]

$$q = A \cdot (\eta_0 \cdot G - a_1 \cdot dT - a_2 \cdot dT^2) \quad [W] \quad (3.1)$$

A - kollektori jõudlusparameetritele vastav pindala [m²]

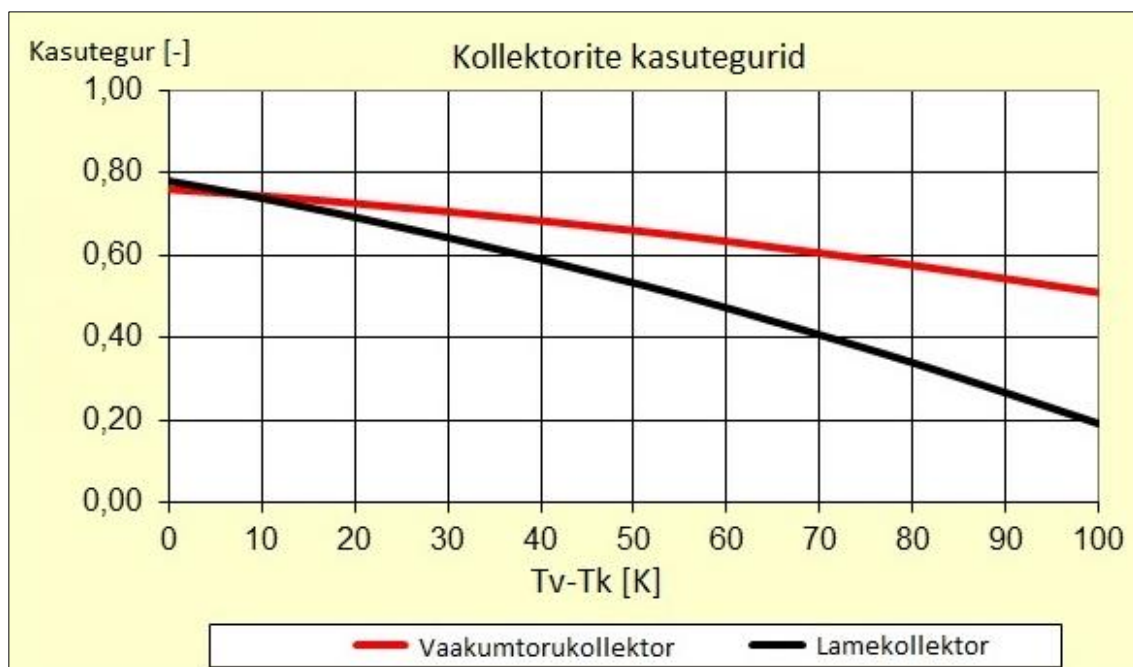
Kollektori tootlikkuse leidmiseks kasutatavad parameetrid: [28]

- η_0 - optiline kasutegur [-]
- a_1 – esimest järku soojuskaotuskoefitsient [W/m²K]
- a_2 – teist järku soojuskaotuskoefitsient [W/m²K²]

Kollektori töötingimused: [28]

- G - päikesekiirguse intensiivsus kollektori tasapinnal [W/m²]
- dT - soojuskandja keskmise temperatuuri ja keskkonna temperatuuri vahe [K]

Selel 3.4 on kujutatud lamekollektori ja vaakumtorukollektori kasuteguri sõltuvus soojuskandja keskmise temperatuuri ja keskkonna temperatuuri vahest. Soojuskandja keskmine temperatuur iseloomustab kollektoris oleva vedeliku arvutuslikku keskmist temperatuuri, sest päikesekiirguse intensiivsus erinevatel ajahetkedel ei ole sama.



Sele 3.4. Lamek- ja vaakumtorukollektorite kasuteguri sõltuvus temperatuuride vahest [28]

Lamekollektori ja vaakumtorukollektori parameetritena on kasutatud ESTIF uuringu keskmisi parameetreid. [28]

3.1.2 Päikesekollektorite valikukriteeriumid

Päikesekollektorite valikul on 4 põhilist aspekti, mida tuleb jälgida:

- Vaba katusepinna olemasolu.
- Katuse kaldenurk, mis määrab ära päikesekollektorite kaldenurga.
- Katuse suund ilmakaarte suhtes, kuhu päikesekollektorid paigaldatakse.
- Vajalik päikeseenergia salvestamise süsteem.

Antud hoone puhul on olemas ligikaudu 170 m² vaba katusepinda, mis hilisemate arvutustele vastavalt on piisav, et paigaldada soovitud arv päikesekollektoreid.

Hoone katuse kaldenurk on 32 kraadi ning suunaga otse lõunasse. Sellised arhitektuursed andmed on peaaegu ideaalsed päikesekollektorite paigaldamiseks. Päikesekollektorid annavad suurima tootlikkuse kui need on suunatud lõunasse kaldenurga all 42 kraadi. Siiski ei ole tootlikkuse vahe 30-50 kraadiste kaldenurkade vahel märkimisväärne. [29], [30], [31]

Päikeselt on võimalik saada vajalikku soojust ainult siis, kui päike paistab. Soojuse tarbimisvajadus aga varieerub, olles suurim hommikuti ja õhtuti. Kõige ideaalsem juhus on siis, kui tarbitakse soojust samal ajal päikesepaistega. Tegelikuses see ei ole nii. Selle tõttu vajatakse salvestussüsteemi, mis päikese paistes salvestab soojust ja kui on vaja soojust tarbida ajal, kui päikesepaistet ei ole, siis on võimalik teha seda salvestist. Selleks, et sellised süsteemid töötaksid korrektselt, kasutatakse vastavat automaatikat. Päikesekollektorid peavad töötama koos teise soojusallikaga, mis antud hoone puhul on valitud pelletkütusel töötav katel, sest Eesti tingimustes ei ole päikesekiirgus piisav selleks, et tagada aastaringselt tarbevee soojendamist.

Antud hoones on olemas 2 1600 liitrise mahtuvusega sooja tarbevee mahtboilerit ning neid ei plaanita välja vahetada. Hilisematest tulemustest selgub, et vanade mahtboilerite kasutamine on soojusvarustussüsteemi rekonstrueerimise korral võimalik, siiski tuleb arvestada, et salvesti minimaalne maht paigaldatavate päikesekollektorite avatud pinna kohta on 50-70 liitrit, mis teeb salvesti kogumahuks 4800 liitrit. [49], [51]

3.1.3 Päikesekollektorite kasutamine tarbevee soojendamiseks

Valikus olev variant, kus päikesekollektoreid kasutatakse tarbevee soojendamiseks. Peatükis 2.1 leitud tarbevee soojendamiseks vajaliku soojushulga järgi valitakse päikesekollektorid.

Ühes kuus tarbevee valmistamiseks vajaminev energiahulk vaadeldavas hoones:

$$Q=91780 \frac{kWh}{a} \div 12 \cong 7648 \frac{kWh}{kuus} \quad (3.2)$$

Päikesekollektorid paigutatakse hoone lõunapoolsele katusele, mille kaldenurk on 32 kraadi. Vastavalt eelnevalt kirjeldatud päikesekollektorite poolt toodetava soojuse arvutamise metoodikale leitakse päikesekollektorite tootlikkus kuude kaupa ja aasta lõikes. Tootlikkus arvutatakse vastavalt kaldenurgale 32 kraadi ning suunaga lõunasse. Päikesekiirguse andmed (päikesekiirguse intensiivsus) vastavalt asukoha koordinaatidele leiti kasutades tarkvara HOMER. [36]

Asukohaks on võetud hoone täpne asukoht Viljandi maakonnas.

Päikesekollektorite valikul analüüsitakse nii lamekollektori kui ka vaakumtorukollektori tootlikkust. Võrdluse aluseks on võetud kaks turul pakutavat päikesekollektorit – üks lamekollektor ja üks vaakumtorukollektor. Põhjendus projekteeritavate kollektorite valikule on projekteerija ning ehitaja varasem kokkupuude antud toodetega.

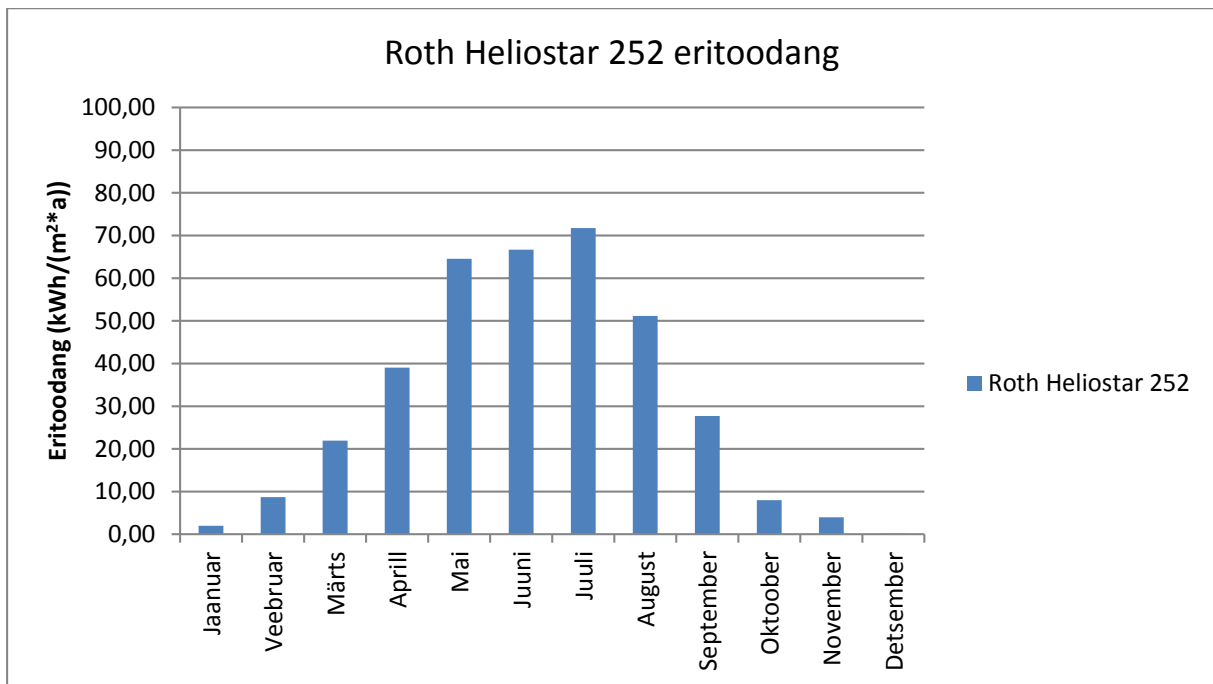
Valitud lamekollektor on Roth Heliostar 252. Antud kollektor omab The Solar Keymark sertifikaati.

Kollektori tehnilised andmed sertifikaadi järgi: [37]

- Kollektori avatud pind (apertuurpind) – 2,29 m²
- Kollektori brutopind – 2,52 m²
- Pikkus – 2100 mm
- Laius – 1200 mm
- Optiline kasutegur (η_0) – 0,765
- Soojuslähikandegur (a_1) – 3,65 W/m²K
- Temperatuurist sõltuv soojuslähikandegur (a_2) – 0,0126 W/m²K²

Selel 3.5 on välja toodud lamekollektori Roth Heliostar 252 eritoodang - soojuse toodang apertuurpinna kohta ($\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$). Toodang on leitud kuude kaupa ja aasta lõikes.

Eritoodangu leidmisel on võetud arvesse kollektorite kaldenurk ning samuti on arvestatud ka süsteemi kadudega (jahtumiskaod – 15 %).



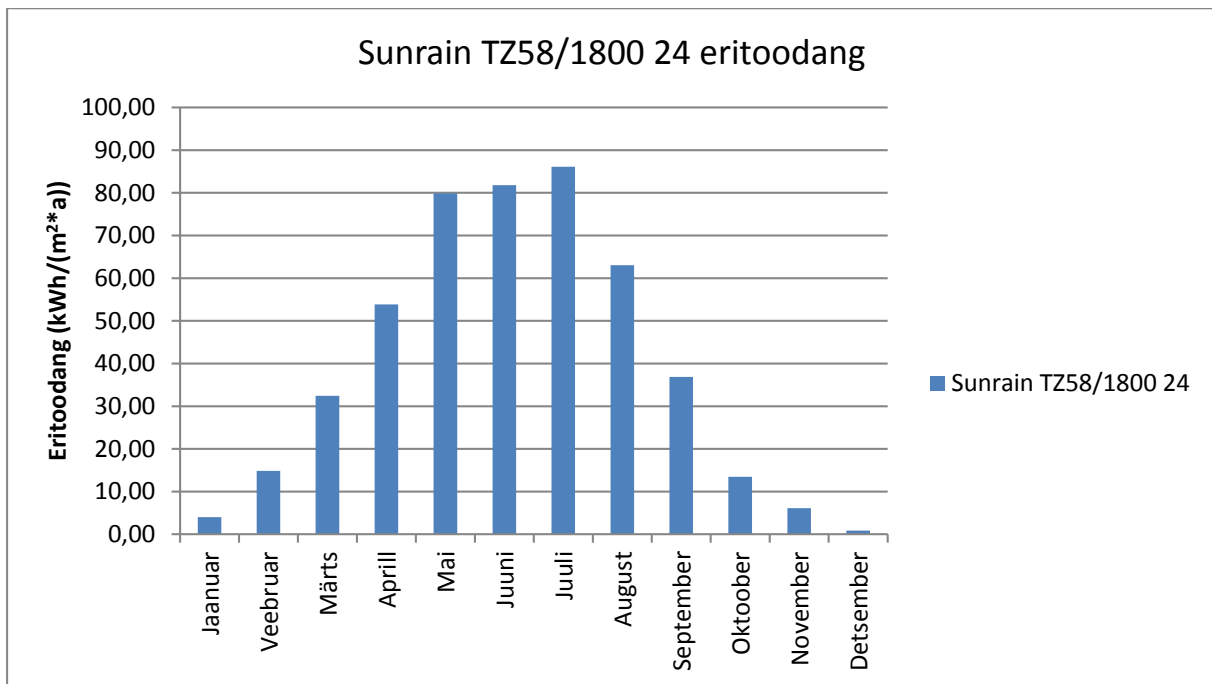
Sele 3.5. Ühe Roth Heliostar 252 kollektori soojuse toodang apertuurpinna kohta aastas.

Valitud vaakumtorukollektor on Sunrain TZ58/1800 24. Antud kollektor omab The Solar Keymark sertifikaati.

Kollektori tehnilised andmed sertifikaadi järgi: [38]

- Kollektori avatud pind (apertuurpind) – $2,24 \text{ m}^2$
- Kollektori brutopind – $3,79 \text{ m}^2$
- Pikkus – $1,950 \text{ m}$
- Laius – $1,944 \text{ m}$
- Optiline kasutegur (η_0) – $0,734$
- Soojuslähikandegur (a_1) – $1,529 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$
- Temperatuurist sõltuv soojuslähikandegur (a_2) – $0,016 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}^2$
- Torude arv – 24

Selel 3.6 on välja toodud vaakumtorukollektori Sunrain TZ58/1800 24 eritoodang - soojuse toodang apertuurpinna kohta (kWh/(m²*a)). Toodang on leitud kuude kaupa aasta lõikes. Eritoodangu leidmisel on võetud arvesse kollektorite kaldenurk ning samuti on arvestatud ka süsteemi kadudega (jahtumiskaod – 15 %).

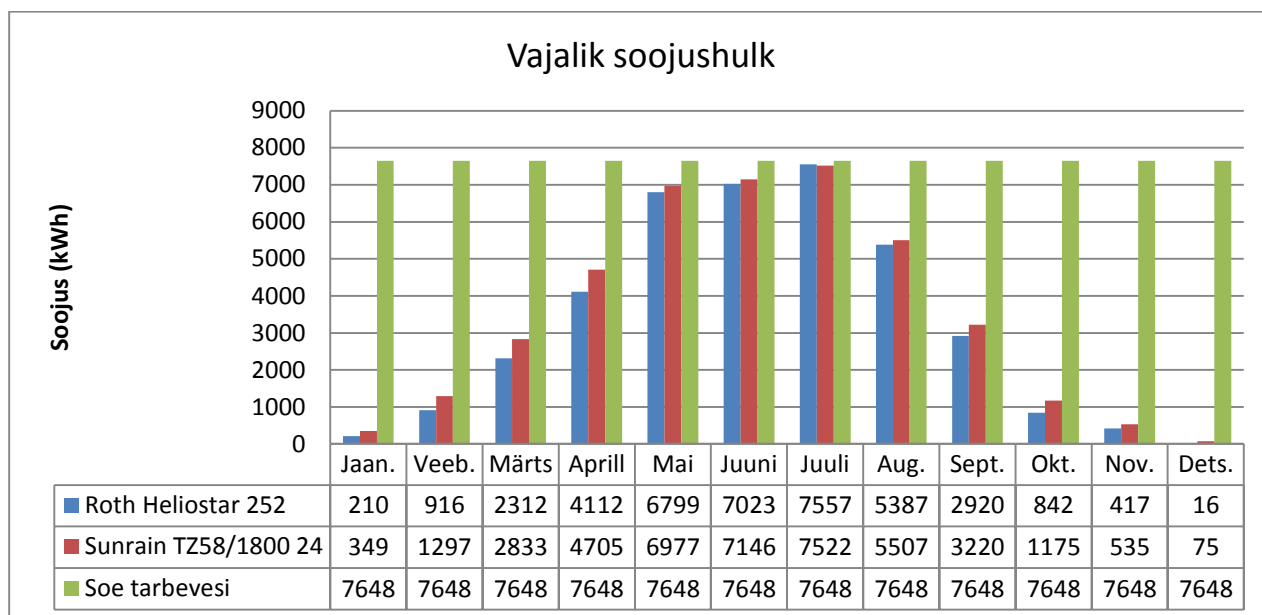


Sele 3.6. Ühe Sunrain TZ58/1800 24 kollektori soojuse toodang apertuurpinna kohta aastas.

Järgnevalt on leitud päikesekollektorite poolt toodetav soojus vastavalt antud hoone sooja tarbevee vajadusele. Arvutuse aluseks on võetud ühes kuus tarbevee soojendamiseks vajaminev soojushulk (7648 kWh), mis on leitud arvestades tellija lähteandmeid.

Võrdluses olevate päikesekollektorite puhul leiti mitu kollektori paneeli on vaja paigaldada, et tagada vajaminev soojushulk. Arvutustes jälgiti mõlema kollektori puhul, et soojuse toodang ei ületaks sooja tarbevee vajadust kõige suurema tootlikkusega kuus, milleks on juuli (vt. Sele 3.5 ja Sele 3.6).

Sele 3.7 kajastab kui palju sooja tarbevee vajadusest katavad päikesekollektorid kuude kaupa ja aasta lõikes.



Sele 3.7. Päikesekollektorite poolt toodetav soojus ja sooja tarbevee vajadus.

Sellise koguse soojust toodavad 46 lamekollektori paneeli ning 39 vaakumtorukollektori paneeli.

46 lamekollektor Roth Heliostar 252 paneeli korral on vajalik avatud pind 105,34 m². Kasulik soojuse toodang aastas on 38511 kWh. Kollektori brutopindala arvestades võtaksid lamekollektorid enda alla 115,92 m² katuse pinda.

39 vaakumtorukollektor Sunrain TZ/58/1800 24 paneeli korral on vajalik avatud pind 87,36 m². Kasulik soojuse toodang aastas on 41340 kWh. Kollektori brutopindala arvestades võtaksid lamekollektorid enda alla 147,81 m² katuse pinda.

Sellise soojuse toodanguga kollektorid tagaksid hinnanguliselt ligikaudu poole aastasest tarbevee soojendamise vajadusest.

Päikesekollektorite lõplikku täpset valikut antud hoone jaoks kirjeldatakse juba projektarvutuste osas peatükis 5.1.

3.2 Pelletküttesüsteemi kirjeldus

Järgnevalt antakse üldine ülevaade valikus oleva pelletkütusel töötava katlamaja süsteemist, kasutatavast kütusest, vajalikest lisaseadmetest ning protsessidest. Antud peatükis tuuakse välja ka hilisemas peatükis 5.2 valitud konkreetse pelletkütusel töötava katla süsteemide üldkirjeldus. Pelletikatlamaja komponente nagu kütusemahutid ja kütuse etteandesüsteem kirjeldatakse põhjalikumalt juba uut projekteeritavat süsteemi käsitlevas peatükis 6.2, sest antud komponendid sõltuvad konkreetsest projekteeritava süsteemi eripäradest.

3.2.1 Pelletkütus

Pelletikatlamajas kasutatakse kütusena puidugraanuleid ehk pelleteid. Pelletid on väärindatud kütus, mis on pressimise teel valmistatud peenestatud ja kuivatatud puidujäätmetest, saepurust või hõõvlilaastudest. Kujult on need 6-10 mm läbimõõduga ja kuni 40 mm pikkusega silindrilised pulgad. [32]

Pelletkütusel on mitmeid eeliseid: [3], [33], [68], [69]

- Pelletite põletamine, transport, ladustamine ja edastamine on oma automatiseerituse ja tehnoloogilise mugavuse tõttu ligilähedane vedelkütuse kasutamisele.
- Kõrge kütteväärtus võrreldes teiste biokütustega (halupuu, turvas).
- Madal niiskusesisaldus.
- Pikk säilivusaeg.
- Võimalik täpsemini reguleerida põlemisrežiimi ning sellega tagada kõrgem kasutegur.
- Odavam transportida ja ladustada võrreldes teiste biokütustega (halupuu, turvas).
- Toorme näol on tegu tootmisjäägiga.
- Põlemise tekib vähem suitsugaase võrreldes fossiilsete kütustega.
- Madal tuhasisaldus (üldjuhul <0,5 % kuivaines).

Pelletkütuse puudused on järgmised: [3], [33]

- Kõrgem tootmis- ja müügihind võrreldes teiste biokütustega.
- Küttepinnad vajavad puhastamist.

Nagu eelnevast näha, siis on pelletkütuse kasutamisel rohkem eeliseid ning on põhjendatud pelletkütusest saadava soojust kasutamine.



Sele 3.8. Puidugraanulid ehk pelletid [34]

Selel 3.8 on näidatud pelletitest. Antud pelletid toodab Leedu ettevõtte Skierus Farm. Pildid olevate pelletite tehnilised andmed on järgmised: [34]

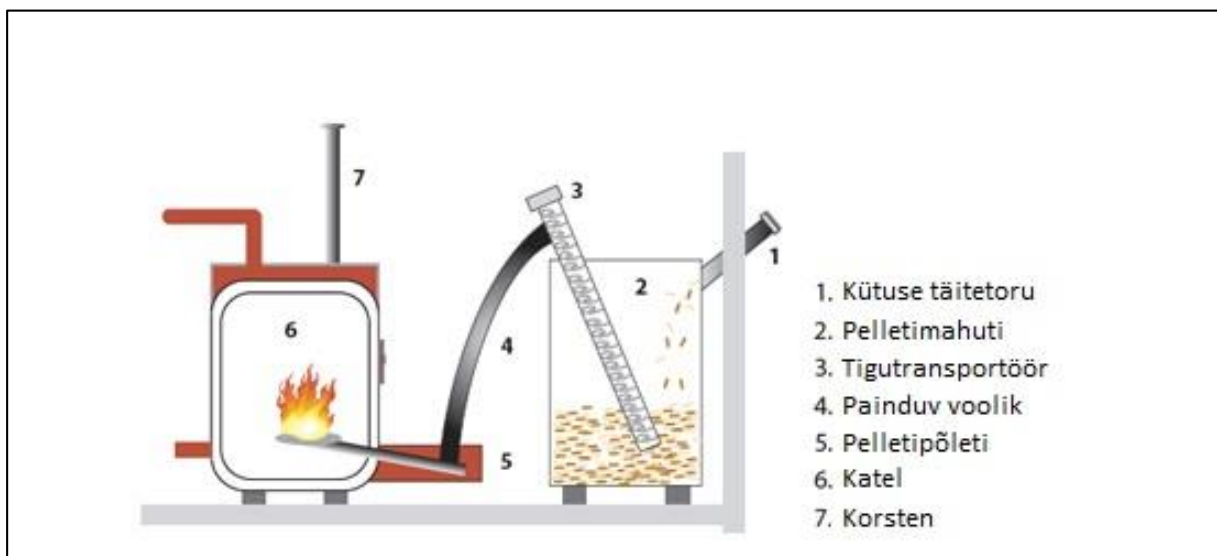
- Kuivaine niiskus: < 9%.
- Tuhasisaldus: < 1,5 %.
- Läbimõõt: 6-8 mm.
- Tihedus: 650 kg/ m³.
- Tarbimisaine alumine kütteväärtus: 18 MJ/kg.

3.2.2 Pelletite põletussüsteem

Pelletite põletussüsteem koosneb järgmistest seadmetest ja komponentidest: [3], [32]

- Pelletipõleti.
- Katel.
- Kütuse ladu ja mahuti.
- Kütuse etteandesüsteem (transportöör) kütuse edastamiseks laost põletisse.
- Suitsugaaside süsteem ning korsten

Selel 3.9 on näha pelletite põletussüsteemi põhimõtteline skeem.



Sele 3.9. Pelletikatlamaja põhimõtteskeem [35]

3.2.3 Pelletipõleti

Põleti on seade, kus oksüdeerijast (hapnik) ning kütusest moodustub põlevsegu. Põleti ülesandeks on tagada segu kiire süttimine ning kõrge efektiivsusega püsiv ja täielik põlemine erinevatel koormustel. [33]

Pelletipõleti on seade katla töö reguleerimiseks ning kütuse (puidugraanulite) automaatseks etteandmiseks. Põleti töö juhtimist ja reguleerimist talitab juhtplokk, mis on reeglina integreeritud põleti korpusesse. Juhtplokk saab juhtimiseks vajalikud käsud anduritelt ning

põlemise intensiivsust reguleeritakse sujuvalt üle minnes minimaalkoormuselt maksimaalkoormuseni. See aitab vältida sagedasi põleti sisse- ja väljalülitusi ning sellest tingitud kütuse kordussüütamisi.

Kütuse põlemine toimub põlemispeal või restil. Kütuse kihi alla suunatakse primaarne põlemisõhk resti avade kaudu. Resti kohale suunatakse sekundaarõhk. Kütusepunkri küljes oleva välise etteandesüsteemi töö sagedusega reguleeritakse katla võimsust. [32], [33]

3.2.4 Katla CS Marina üldkirjeldus

CT Pasqualicchio poolt toodetav katel CS Marina on keskküttekatel, millega saab tagada hoone kütte ning sooja tarbeveega varustamise. Katel sobib kokku tellija sooviga kasutada taastuvatest energiaallikatest saadavat soojust ning mugavat ja automatiseeritud põletustehnoloogiat. Antud katlas saab kütusena kasutada looduslikult taastuvatest materjalidest valmistatavaid pelleteid (Eesti kontekstis eelkõige saepurust valmistatud). Katel on konstrueeritud biokütuste põletamiseks võimalikult kõrge kasuteguriga. [41]

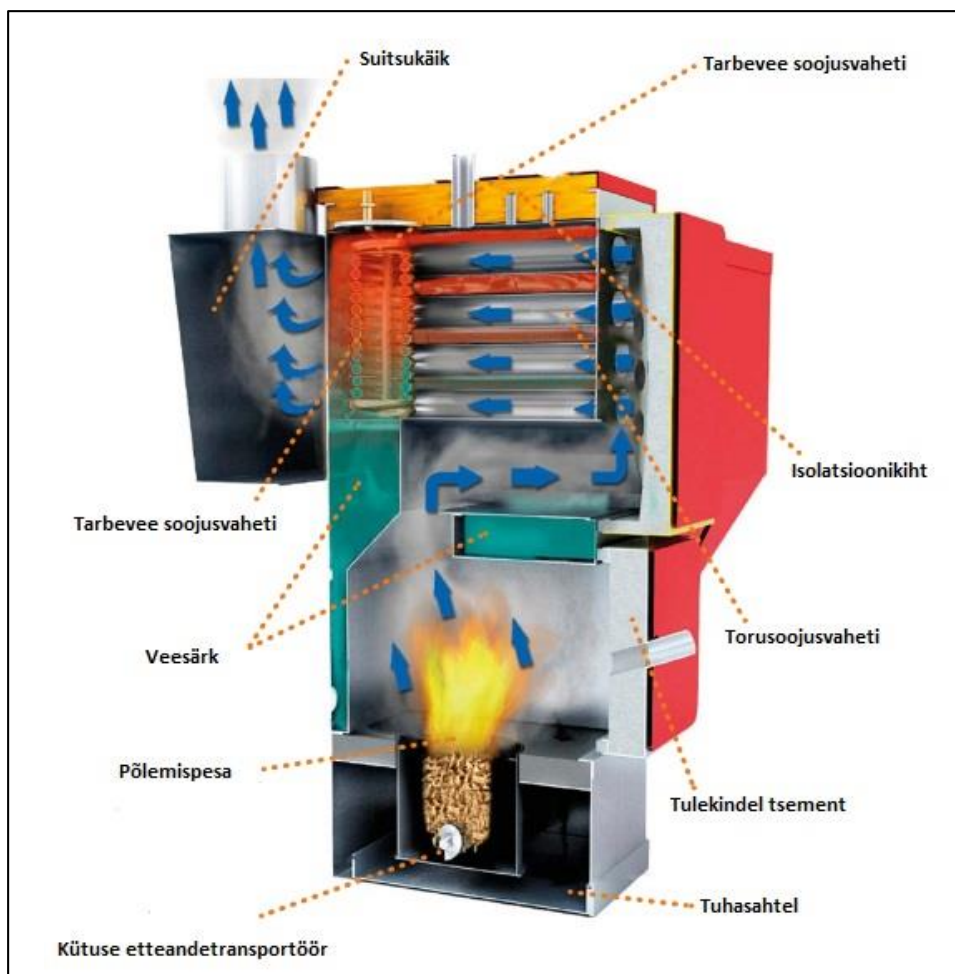
Katlal on järgnevad komponendid, mis kajastuvad ka Seel 3.10: [41]

- Kütusemahuti. Vastavalt vajadusele on võimalik paigaldada nii katla külgedele kui ka taha. Mahuti konstruktsioon on alt kitsenev, mis võimaldab kütusel raskusjõu mõjul langeda katlasisessele kütuse etteandesüsteemile.
- Kütuse etteandesüsteem. Koosneb kahest kruvitransportöörist (omavahel eraldatud tigutransportöörid), mis on valmistatud tugevdatud süsinikterasest. Etteandesüsteem on täielikult automatiseeritud, vastupidavuse tagavad kõrge kvaliteediga mootorajamid.
- Katel on varustatud tule tagasipõlemiskaitse klappiga (ingl k. – *safety lock system*). See paikneb tigutransportööride vahel ning takistab tule liikumist kütusemahutisse. Samuti sulgub klapp voolukatkestuse korral.
- Katel on varustatud ukse ohutuslülitiga, et nõrgestada leegi intensiivistumist ukse avamise korral.
- Katel on varustatud mahuanduriga, mis annab märku kütuse lõppemisest ning lõpetab katla töötamise, kui kütus mahutis langeb alla määratud piiri.

- Katel on varustatud automaatse juhtimissüsteemiga, mis mõõdab katla vee ja suitsugaaside temperatuure katla korpuses paiknevate temperatuuriandurite järgi. Regulaator töötab vastavate parameetritega erinevatele töösüklikele, milleks on maksimaalne võimsus, moduleerimine, süütamine ja ooterežiim.
- Katlal on malmist põlemispesa, kus on õhuavad, mille kaudu antakse põlemiseks vajalik õhk.
- Veeark. Ümbritseb katla kollet.
- Katla ülemises osas on torusoojusvahetid, et suurendada soojusvahetuspinna kütteveega.
- Katla suitsukäigu kõrval on gofreeritud spiraalsoojusvaheti sooja tarbevee valmistamiseks.
- Katla suitsukäik on konstrueeritud horisontaalselt, et oleks võimalik torusoojusvahetit puhastada. Harjaga puhastades langeb tuhk taga paiknevasse suitsukäiku. Katla külgedel paiknevate ohutusluukide kaudu saab suitsukäiku puhastada.
- Katla alumises osas paiknev tuhasahtel, kuhu on võimalik paigaldada automatiseeritud tuhaeraldussüsteem.
- Isolatsioonmaterjalid. Katla ukсед ja põlemiskambri põhi on kaetud tulekindla tsemendiga, et kaitsta teraskonstruktsioone. Katla korpus on kaetud isolatsioonikihiga, et vähendada soojuskadusid ja tagada suurem ohutus.
- Pealmine kate. Katel on väliselt kaetud terasest plekkidega, mis on omakorda kaetud epoksiid-pulbervärviga.
-

CS Marina katlaid toodetakse võimsusvahemikus 29-2320 kW. [41]

Selet 3.10 on näha katla CS Marina lõige.



Sele 3.10. CS Marina läbilõige [41]

3.3 Õhk-vesi soojuspumba kasutamine hoone soojusvarustuses

Soojuspump on seade, mille tehnoloogia seisneb madalama temperatuuriga keskkonnalt soojuse ülekandmises kõrgema temperatuuriga keskkonnale. Selline temperatuuri ülekandmine on võimalik pöördringprotsesside vahendusel. Kõige täiuslikum protsess nendest on Carnot' pöördringprotsess. Protsesse nimetatakse soojuse transformatsiooniks. Termodünaamilise kehana kasutatakse ringprotsessis külmutusagensse.

Õhk-vesi soojuspumba korral on küttesüsteemi soojuskandjaks vesi, soojus kantakse üle välisõhult küttesüsteemi veele. Soojuspumba siseosa ning välisosa vahel ringleb külmutusagenss.

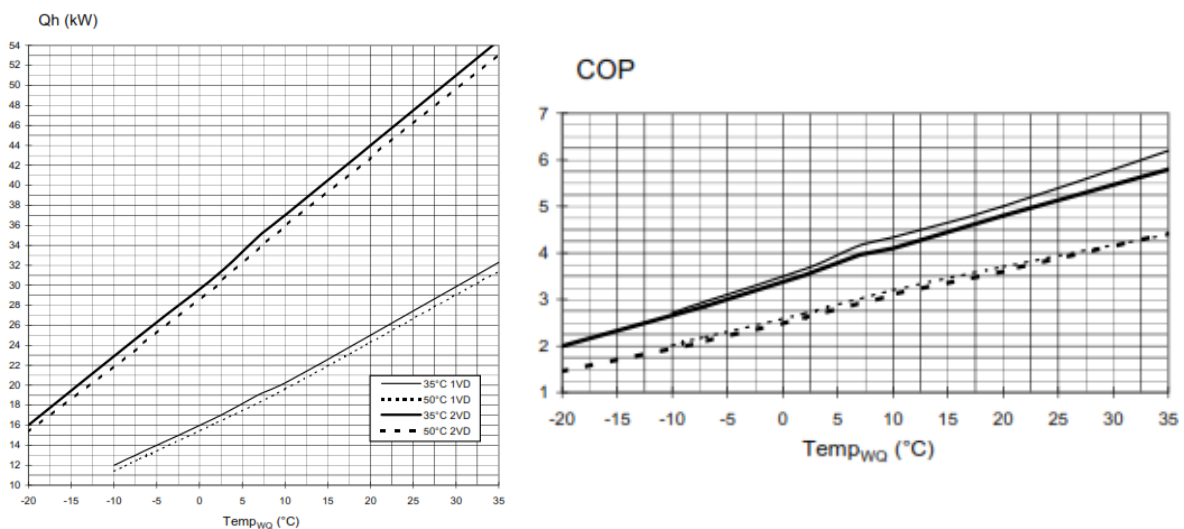
Soojuspumba efektiivsust hinnatakse soojusteguri järgi, mis näitab ringprotsessist eemaldatava soojushulga suhet kulutatavasse töösse. Lihtsustatuna võib soojustegurit

vaadelda kui tegurit, mis näitab mitu korda genereerib seade rohkem soojust kui kasutab selleks elektrit. Soojustegurit tuntakse lühendi COP järgi. [66], [71], [72]

3.3.1 Õhk-vesi soojuspumba valikukriteeriumid

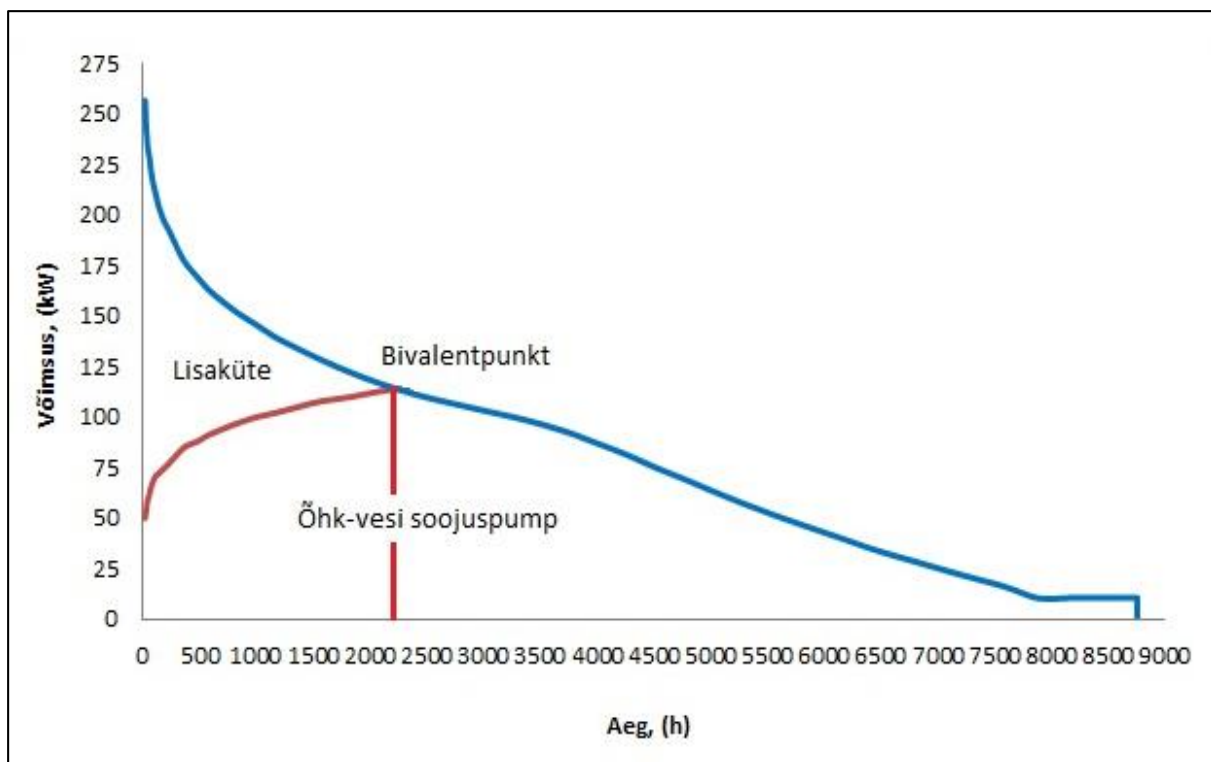
Ei ole otstarbekas valida õhk-vesi soojuspumpa katmaks kogu hoone soojuskoormust. Välisõhu temperatuuri langedes kaotab soojuspump efektiivsust. Eksisteerib nn bivalentpunkt, millest alates on otstarbekas lisasoojusallika kasutamine. [73]

Õhk-vesi soojuspumpade võimsuse ja soojusteguri sõltuvust välisõhutemperatuurist on vaja teada arvutuste teostamiseks (vt. Sele 3.11). [65], [74]



Sele 3.11. Õhk-vesi soojuspumba Alpha-Innotec LW 310 soojusteguri ja võimsuse sõltuvus välisõhutemperatuurist. [74]

Järgnevalt on koostatud soojuskoormusgraafik õhk-vesi soojuspumba kasutamisel hoone soojusvarustuses turul pakutava õhk-vesi soojuspumba Alpha-Innotec LW 310 baasil (Sele 3.12). Bivalentpunkt on 0 °C juures.



Sele 3.12 Õhk-vesi soojuspumba bivalentpunkt soojuskoormusgraafikul.

Selet 3.12 näeme, kui suure osa hoone soojusvarustusest katab õhk-vesi soojuspump ning milline on lisakütte vajadus.

Graafiku järgi leituna tagab õhk-vesi soojuspump 76 % hoone aastasest soojusvajadusest, ülejäänud 24 % peab tagama lisakütteallikas. Aastakeskmise soojusteguri väärtus on 2,5.

4. VAADELDAVATE VARIANTIDE TEHNILIS-MAJANDUSLIK ARVUTUS

Projekteeritava lahenduse lõpliku valiku tegemiseks koostatakse vaadeldavate variantide tehniline ja majanduslik analüüs, et välja selgitada kõige optimaalsem variant, mis on kooskõlas tellija lähteandmetega ning vastab tellija nõudmistele.

Vaadeldava hoone uute soojusallikate valikul leitakse planeeritava investeeringu lihttasuvusaeg võrreldes olemasoleva soojusallika kasutamisega.

Tasuvusanalüüsi aluseks on hoone soojuse kulu (580 MWh/a), peatükis 2.1 leitud hoone hinnanguline maksimaalne soojuslik võimsus ja tarbevee soojendamiseks vajaminev energiahulk ning selle põhjal punktis 3.1.3 leitud päikesekollektorite poolt toodetava soojuse hulk.

4.1 Päikesekollektorite süsteemi tasuvusanalüüs

Kõigepealt vaadeldakse eraldi päikesekollektorite süsteemi tasuvusaega tarbevee soojendamiseks. Selgitamaks millist kollektorit on tehnilis-majanduslikult optimaalsem kasutada, leitakse lihttasuvusaeg nii lamekollektori kui ka vaakumtorukollektori korral. Võrdluse aluseks on võetud hoone olemasolev süsteem, kus tarbevett soojendati põlevkiviõlil töötava katla abiga.

4.1.1 Tasuvusaeg lamekollektorite korral

Punktis 3.1.3 leitu põhjal on 46 lamekollektoriga süsteemi kasulik soojuse toodang 38511 kWh aastas. Olemasoleva põlevkiviõlil töötava katla aasta keskmine kasutegur on ligikaudu 80 %. Põlevkiviõli alumine kütteväärtus massiühiku kohta on 10,8 kWh/kg ning mahuühiku kohta 10,0 kWh/l. Põlevkiviõli hinnanguline hind on 0,95 €/liiter. Kütuse hind on hinnanguline keskmine hind, sest hinna muutus aasta lõikes on kõikuv ning eeldatakse kütuse teatava varu olemasolu. Arvestatakse ka õli hinna tõusuga tulevikus. [63], [64]

Terviksüsteemi maksumuse teadasaamiseks küsiti ettevõtetelt hinnapakumist, milles selgus, et kogu lamekollektorite süsteemi komponentide maksumus koos paigaldamisega on ligikaudu 22000 €. Sellele hinnale lisandub veel käibemaks (20%).

Kütuse kogus olemasoleva katlamaja süsteemi korral, mis kataks päikesekollektorite poolt genereeritava soojuse:

$$\begin{aligned} \text{kütuse kogus} &= \frac{\text{lamekollektorite kasulik tootlikkus}}{\text{katla kasutegur} \times \text{põlevkiviõli kütteväärtus}} = \frac{38511 \text{ kWh/a}}{0,8 \cdot 10,0 \text{ kWh/l}} = \\ &= 4813,9 \text{ l/a} \end{aligned} \quad (4.1)$$

Rahaline kokkuhoid lamekollektorite kasuliku toodangu pealt on järgmine:

$$4813,9 \text{ l/a} \cdot 0,95 \text{ €/l} = 4573,2 \text{ €/a} \quad (4.2)$$

Lihttasuvusaeg lamekollektoritega süsteemi puhul võrreldes põlevkiviõli kasutamisega soojuse genereerimiseks:

$$\frac{22000 \text{ € (+km)}}{4573,2 \text{ €/a}} = 5,8 \text{ a} \quad (4.3)$$

4.1.2 Tasuvusaeg vaakumtorukollektorite korral

Punktis 3.1.3 leitu põhjal on 39 vaakumtorukollektoriga süsteemi kasulik soojuse toodang 41340 kWh aastas.

Terviksüsteemi maksumuse teadasaamiseks küsiti ettevõtetelt hinnapakumist, milles selgus, et kogu vaakumtorukollektorite süsteemi komponentide maksumus koos paigaldamisega on ligikaudu 23700 €. Sellele hinnale lisandub veel käibemaks (20%).

Kütuse kogus olemasoleva katlamaja süsteemi korral, mis kataks päikesekollektorite poolt genereeritava soojuse:

$$\begin{aligned} \text{kütuse kogus} &= \frac{\text{vaakumtorukollektorite kasulik tootlikkus}}{\text{katla kasutegur} \times \text{põlevkiviõli kütteväärtus}} = \frac{41340 \text{ kWh/a}}{0,8 \cdot 10,0 \text{ kWh/l}} = \\ &= 5167,5 \text{ l/a} \end{aligned} \quad (4.4)$$

Rahaline kokkuhoid vaakumtorukollektorite kasuliku toodangu pealt on järgmine:

$$5167,7 \text{ l/a} \cdot 0,95 \text{ €/l} = 4909,3 \text{ €/a} \quad (4.5)$$

Lihttasuvusaeg vaakumtorukollektoritega süsteemi puhul võrreldes põlevkiviõli kasutamisega soojuse genereerimiseks:

$$\frac{23700 \text{ € (+km)}}{4909,3 \text{ €/a}} = 5,8 \text{ a} \quad (4.6)$$

Tulemustest on näha, et mõlema kollektori tüübi korral on tasuvusaeg sama. Vaakumtorukollektorid on küll suurema tootlikkusega, kuid kõrgem investeeringu maksumus tõstab nende tasuvusaja lamekollektoritega samasse klassi.

4.2 Tasuvalüüs ainult pelletikatlama ja korral

Pelletikatlama ja tasuvalüüsi aluseks on hoone kogu soojuse kulu, mis on tellija lähteandmetest teada ning peatükis 2.1 leitud hoone soojuskoormus.

Järgnevalt vaadeldakse eraldi pelletikatlama ja tasuvusaega olukorras, kus kogu hoone aastane soojuse vajadus tagatakse pelletkütusest saadava soojusega. Võrdluse aluseks on võetud hoone olemasolev süsteem, kus aastase soojuse vajaduse (hoone küte ja soe tarbevesi) tagas põlevkiviõlil töötav katlama ja. Tellija lähteandmetest tulenevalt on vaadeldava hoone soojuse vajadus 580 MWh aastas.

Kütuse kogus olemasolevas põlevkiviõlil töötavas katlamajas, mis tagaks hoone aastase soojuse vajaduse:

$$\begin{aligned} \text{kütuse kogus} &= \frac{\text{hoone aastane soojuse vajadus}}{\text{katla kasutegur} \times \text{põlevkiviõli kütteväärtus}} = \frac{580 \text{ MWh/a}}{0,8 \cdot 10,0 \text{ kWh/l}} = \\ &= 72500 \text{ l/a} \end{aligned} \quad (4.7)$$

Rahaline kulu kütuse peale aastas on järgmine:

$$72500 \text{ l/a} \cdot 0,95 \text{ €/l} = 68875 \text{ €/a} \quad (4.8)$$

Pelletkütusel töötava katla aasta keskmine kasutegur on ligikaudu 85 %. Puidugraanulite ehk pelletite alumine kütteväärtus massiühiku kohta on ligikaudu 4,7-5,0 kWh/kg. Pelletkütuse

hinnanguline hind on koos käibemaksuga 200 €/tonn. Kütuse hinna puhul eeldame kütuse teatava varu olemasolu. [42], [63], [64]

Kütuse kogus pelletkütusel töötavas katlamajas, mis tagaks hoone aastase soojuse vajaduse:

$$\begin{aligned} \text{kütuse kogus} &= \frac{\text{hoone aastane soojuse vajadus}}{\text{katla kasutegur} \times \text{pelletite kütteväärtus}} = \frac{580 \text{ MWh/a}}{0,85 \cdot 4,85 \text{ kWh/kg}} = \\ &= 140691,3 \text{ kg/a} \cong 140,7 \text{ t/a} \end{aligned} \quad (4.9)$$

Rahaline kulu kütuse peale aastas on järgmine:

$$140,7 \text{ t/a} \cdot 200 \text{ €/t} = 28140 \text{ €/a} \quad (4.10)$$

Rahaline kokkuhoid pelletkütuse kasutamisel aastas on järgmine:

$$68875 \text{ €/a} - 28140 \text{ €/a} = 40735 \text{ €/a} \quad (4.11)$$

Vaadeldava hoone soojuskoormuse graafikule vastava võimsusega pelletikatlamaja investeeringumaksumus on ligikaudu 40000 €. Sellele hinnale lisandub veel käibemaks (20%). [65]

Lihttasuvusaeg ainult pelletkütusest saadava soojuse kasutamisel võrreldes põlevkiviõli kasutamisega soojuse genereerimiseks:

$$\frac{40000 \text{ € (+km)}}{40735 \text{ €/a}} = 1,2 \text{ a} \quad (4.12)$$

4.3 Integreeritud päikesekollektorite süsteemi ja pelletikatlamaja tasuvusanalüüs

Järgnevalt vaadeldakse integreeritud päikesekollektorite süsteemi ja pelletikatlamaja tasuvusaega olukorras, kus päikesekollektoreid kasutatakse tarbevee soojendamiseks ning pelletikatlamaja tagab hoone küttevajaduse ning osa tarbevee soojendamise vajadusest. Võrdluse aluseks on võetud hoone olemasolev süsteem, kus aastase soojuse vajaduse (hoone küte ja tarbevee soojendamine) tagas põlevkiviõlil töötav katlamaja. Tellija lähteandmetest

tulenevalt on vaadeldava hoone soojuse vajadus 580 MWh aastas, millest lamekollektorid kataksid 38,511 MWh, vaakumtorukollektorid aga 41,340 MWh. Pelletikatlamaja tagab ülejäänud 541,489 MWh või 538,66 MWh vajalikust soojusest.

Eelnevalt leitud rahaline kokkuhoid aastas päikesekollektorite kasuliku toodangu pealt on 4573,2 € lamekollektorite korral ning 4909,3 € vaakumtorukollektorite korral.

1) Lamekollektorite kasutamine integreeritud süsteemis:

Kütuse kogus olemasolevas põlevkiviõlil töötavas katlamajas, mis tagaks hoone aastase soojuse vajaduse kui sealt arvestada maha lamekollektorite kasulik soojuse toodang:

$$\begin{aligned} \text{kütuse kogus} &= \frac{\text{hoone soojuse vajadus}}{\text{katla kasutegur} \times \text{põlevkiviõli kütteväärtus}} = \frac{541,489 \text{ MWh/a}}{0,8 \cdot 10,0 \text{ kWh/l}} = \\ &= 67686,1 \text{ l/a} \end{aligned} \quad (4.13)$$

Rahaline kulu kütuse peale aastas on järgmine:

$$67686,1 \text{ l/a} \cdot 0,95 \text{ €/l} = 64301,8 \text{ €/a} \quad (4.14)$$

Kütuse kogus pelletkütusel töötavas katlamajas, mis tagaks hoone aastase soojuse vajaduse kui sealt arvestada maha lamekollektorite kasulik soojuse toodang:

$$\begin{aligned} \text{kütuse kogus} &= \frac{\text{hoone soojuse vajadus}}{\text{katla kasutegur} \times \text{pelletite kütteväärtus}} = \frac{541,489 \text{ MWh/a}}{0,85 \cdot 4,85 \text{ kWh/kg}} = \\ &= 131349,7 \text{ kg/a} \cong 131,3 \text{ t/a} \end{aligned} \quad (4.15)$$

Rahaline kulu kütuse peale aastas on järgmine:

$$131,3 \text{ t/a} \cdot 200 \text{ €/t} = 26260 \text{ €/a} \quad (4.16)$$

Rahaline kokkuhoid pelletkütuse kasutamisel aastas on järgmine:

$$64301,8 \text{ €/a} - 26260 \text{ €/a} = 38041,8 \text{ €/a} \quad (4.17)$$

Integreeritud süsteemi rahaline kokkuhoid on järgmine:

$$4573,2 \text{ €/a} + 38041,8 \text{ €/a} = 42615 \text{ €/a} \quad (4.18)$$

Lihttasuvusaeg integreeritud lamekollektorite süsteemi ja pelletikatlamaja korral võrreldes põlevkiviõli kasutamise soojuse genereerimiseks:

$$\frac{62000 \text{ € (+km)}}{42615 \text{ €/a}} = 1,7 \text{ a} \quad (4.19)$$

2) Vaakumtorukollektorite kasutamine integreeritud süsteemis:

Kütuse kogus olemasolevas põlevkiviõlil töötavas katlamajas, mis tagaks hoone aastase soojuse vajaduse kui sealt arvestada maha vaakumtorukollektorite kasulik soojuse toodang:

$$\begin{aligned} \text{kütuse kogus} &= \frac{\text{hoone soojuse vajadus}}{\text{katla kasutegur} \times \text{põlevkiviõli kütteväärtus}} = \frac{538,66 \text{ MWh/a}}{0,8 \cdot 10,0 \text{ kWh/l}} = \\ &= 67332,5 \text{ l/a} \end{aligned} \quad (4.20)$$

Rahaline kulu kütuse peale aastas on järgmine:

$$67332,5 \text{ l/a} \cdot 0,95 \text{ €/l} = 63965,9 \text{ €/a} \quad (4.21)$$

Kütuse kogus pelletkütusel töötavas katlamajas, mis tagaks hoone aastase soojuse vajaduse kui sealt arvestada maha vaakumtorukollektorite kasulik soojuse toodang:

$$\begin{aligned} \text{kütuse kogus} &= \frac{\text{hoone soojuse vajadus}}{\text{katla kasutegur} \times \text{pelletite kütteväärtus}} = \frac{538,66 \text{ MWh/a}}{0,85 \cdot 4,85 \text{ kWh/kg}} = \\ &= 130663,4 \text{ kg/a} \cong 130,7 \text{ t/a} \end{aligned} \quad (4.22)$$

Rahaline kulu kütuse peale aastas on järgmine:

$$130,7 \text{ t/a} \cdot 200 \text{ €/t} = 26140 \text{ €/a} \quad (4.23)$$

Rahaline kokkuhoid pelletkütuse kasutamisel aastas on järgmine:

$$63965,9 \text{ €/a} - 26140 \text{ €/a} = 37825,9 \text{ €/a} \quad (4.24)$$

Integreeritud süsteemi rahaline kokkuhoid on kokku järgmine:

$$4909,3 \text{ €/a} + 37825,9 \text{ €/a} = 42735,2 \text{ €/a} \quad (4.25)$$

Lihttasuvusaeg integreeritud vaakumtorukollektorite süsteemi ja pelletikatlamaja korral võrreldes põlevkiviõli kasutamise soojuse genereerimiseks:

$$\frac{63700 \text{ € (+km)}}{42735,2 \text{ €/a}} = 1,8 a \quad (4.26)$$

4.4 Tasuvusanalüüs õhk-vesi soojuspump koos olemasoleva põlevkiviõli katlaga

Lisaks eelnevatele tasuvusanalüüsidele on uuritud võimalikku alternatiivi hoone soojusvarustussüsteemis. Autor on valinud alternatiiviks olukorra, kus hoone soojusvarustuses kasutatakse õhk-vesi soojuspumpa ning tipukoormuse katmiseks jääb olemasolev põlevkiviõlil töötav katlamaja. Soojuspump ning olemasolev katlamaja tagavad nii hoone kütte kui ka sooja tarbevee vajaduse. Tipukoormuse arvestamisel on lähtutud punktis 3.3.1 leitud õhk-vesi soojuspumba bivalentpunktist soojuskoormusgraafikul. Selle järgi leituna tagab õhk-vesi soojuspump 76 % hoone aastasest soojusvajadusest, ülejäänud 24 % peab tagama lisakütteallikas.

Sele 3.11 järgi leitud soojusteguri ehk COP väärtus antud juhul on 2,5.

Antud juhul tagatakse õhk-vesi soojuspumpadega 441 MWh aastasest soojusvajadusest ning 139 MWh põlevkiviõlil töötava katlaga.

Õhk-vesi soojuspumba korral leitakse soojuspumba poolt kasutatud elektri kogus.

Elektri koguhinnaks on võetud 125 €/MWh – hinnanguline hind, mis sisaldab elektri hinda, võrguteenuse hinda, taastuvenergia tasu, elektriaktsiisi ja käibemaksu. [67]

Õhk-vesi soojuspumba poolt tarbitud elektri aastane kogus:

$$\begin{aligned} \text{elektri kogus} &= \frac{\text{hoone soojuse vajadus}}{COP} = \frac{441 \text{ MWh/a}}{2,5} = \\ &= 176,4 \text{ MWh/a} \end{aligned} \quad (4.27)$$

Rahaline kulu elektri peale aastas on järgmine:

$$176,4 \text{ MWh/a} \cdot 125 \text{ €/MWh} = 22050 \text{ €/a} \quad (4.28)$$

Sama koguse tagamiseks põlevkiviõlil töötavas katlamajas kuluks kütust:

$$\begin{aligned} \text{kütuse kogus} &= \frac{\text{hoone soojuse vajadus}}{\text{katla kasutegur} \times \text{põlevkiviõli kütteväärtus}} = \frac{441 \text{ MWh/a}}{0,8 \cdot 10,0 \text{ kWh/l}} = \\ &= 55125 \text{ l/a} \end{aligned} \quad (4.29)$$

Rahaline kulu kütuse peale aastas on järgmine:

$$55125 \text{ l/a} \cdot 0,95 \text{ €/l} = 52368,8 \text{ €/a} \quad (4.30)$$

Rahaline kokkuhoid õhk-vesi soojuspumba kasutamisel aastas on järgmine:

$$52368,8 \text{ €/a} - 22050 \text{ €/a} = 30318,8 \text{ €/a} \quad (4.31)$$

Õhk-vesi soojuspumpade süsteemi terviklahenduse hinnanguline maksumus on 74000 € (koos käibemaksuga).

Lihttasuvusaeg õhk-vesi soojuspumba ning olemasoleva põlevkiviõlil töötava katlamaja korral võrreldes ainult põlevkiviõli kasutamise soojuse genereerimiseks:

$$\frac{74000 \text{ € (+km)}}{30318,8 \text{ €/a}} = 2,9 \text{ a} \quad (4.32)$$

4.5 Tehnilis-majandusliku analüüsi tulemused

Tehnilis-majandusliku võrdluse tulemusena selgus, et kõige väiksema lihttasuvusaja võrreldes vana süsteemiga saab, kui kasutada ainult pelletkütusest saadavat soojust hoone soojusvarustuses. Süsteemi lihttasuvusajaks on 1,2 aastat.

Lamekollektorite ja vaakumtorukollektorite võrdluses selgus, et lihttasuvusaeg võrrelduna põlevkiviõlil töötava katla abil tarbevee soojendamiseks on mõlema kollektori tüübi puhul sama. Seega ei selgunud tasuvusanalüüsist päikesekollektorite erinevus ning lõplik otsus tuleb langetada projektarvutustes, kus jälgitakse ka konkreetsete kollektorite sobivust antud hoonele lähtudes selle arhitektuursetest eripäradest ning päikesekollektorite paigutusest ja mõõtmetest.

Integreeritud päikesekollektorite süsteemi ja pelletkütusel töötava katlamaja lihttasuvusajaks võrreldes olemasoleva süsteemiga on lamekollektorite ja pelletikatla korral 1,7 aastat ning vaakumtorukollektorite ja pelletikatla korral 1,8 aastat.

Kuna tasuvusaja erinevus ainult pelletkütusel töötava katlamaja ning integreeritud süsteemi vahel ei ole märkimisväärselt suur (0,5-0,6 aastat) siis valiti projekteeritavaks süsteemiks integreeritud süsteem päikesekollektorite ja pelletikatlamajaga, sest tellija sooviks oli kasutada päikesekollektoreid hoone soojusvarustussüsteemis. Projekteerija võib seda lugeda tehnilis-majanduslikult põhjendatuks. Arvestades ka seda, et päikesekollektorite maksumuse moodustab ainult investeering süsteemi väljaehitamisele ning päikesekollektorite poolt toodetava soojuse hinda ei mõjuta kütuste muutuvad hinnad. Integreeritud süsteemi kasuks räägib ka odavam soojuse maksumus 20-aastase investeeringu eluea korral.

Alternatiivse variandi lihttasuvusaeg õhk-vesi soojuspumba ning olemasoleva põlevkiviõli katla korral on 2,9 aastat ning see on suurem kui eelnevalt leitud variantide korral. Sellest tulenevalt ei pea töö autor seda tehnilis-majanduslikult põhjendatuks.

Tabel 4.1 kajastab vaadeldavate variantide soojuse maksumust 20-aastase elueaga investeeringu korral. Soojuse maksumuse leidmisel on muutuvkuluna arvestatud kütuse kulu pelletikatla ja põlevkiviõli katla korral ning elektri kulu õhk-vesi soojuspumba korral. Hoolduskulusid ei ole arvestatud.

Tabel 4.1. Vaadeldavate variantide soojuse maksumus.

Nimetus	Ühik	Pelletikatlamaja	Lamekollektorid + pelletikatlamaja	Vaakumtorukollektorid + pelletikatlamaja	Õhk-vesi soojuspump + põlevkiviõli katel
Soojuse netotoodang	MWh/a	580	580	580	580
Investeeringu maksumus	EUR	48000	74400	76440	88800
Investeeringu eluiga	a	20	20	20	20
Soojuse maksumus	EUR/MWh	52,7	51,7	51,7	72,5

5. PROJEKTARVUTUSED JA SÜSTEEMIDE VALIK

Tehnilis-majandusliku analüüsi tulemusena otsustati hoone uues projekteeritavas soojusvarustussüsteemis kasutada päikesekollektoreid ning pelletkütusest saadavat soojust. Järgnevas peatükis kajastatakse uue valitud süsteemi projektarvutusi. Päikesekollektorid valitakse vastavalt peatükis 2.1 leitud tarbevee soojendamiseks vajalikule soojushulgale ning punktis 3.1.3 leitud päikesekollektorite aastasele soojuse toodangule. Lisaks lähtutakse ka mõlema valitud kollektori tüübi sobivusest vaadeldava hoone katusele (vaba pinna olemasolu, varjutus, päikesekollektorite mõõtmed ning konstruktsioon, päikesekollektorite omavaheline ühendus).

Pelletkütusel töötava katlamaja valikul lähtutakse peatükis 2.1 leitud hoone soojuslikust võimsusest.

Leitakse ka kütusemahuti vajalik suurus.

5.1 Päikesekollektorite valik antud hoonele

Päikesekollektorid paigaldatakse antud hoone lõunapoolsele viilkatusele kaldenurgaga 32 kraadi. Hoone katuse pindala on 168 m².

Päikesekollektorite paigaldamisel tuleb jälgida tekkivat varjutust. Varjusid tekitavad peamiselt ümbritsev taimestik (puud, põõsad), ümbritsevad hooned ning katusekonstruktsioonid. [31]

Antud hoone puhul ei ole olemasolevaid varjusid tekitavaid elemente. Siiski arvestati päikesekollektorite paigaldamisel hoone kõrvale rajatava kütusepunkriga, mille kõrgus on 7,5 m (täpsem kirjeldus punktis 6.2.2). Kütusepunker tekitab hoone lõunapoolsele katusele osalist varjutust. Selle tõttu ei saa päikesekollektoreid paigaldada ca 1/3 osale katuse vabast pinnast. Seega päikesekollektorite jaoks olemasolev vaba pind on 125 m² (vt. joonis LISA 1). Arvestades katusekonstruktsioone (päikesekollektorite kaugust katuseharjast ja äärtest) ning päikesekollektorite omavahelist ühendamist ja vahekaugusi leiti kui palju valikus olevaid kollektoreid on võimalik paigaldada vaadeldavale katusele. [39], [40]

Lamekollektor Roth Heliostar 252:

- 30 lamekollektori paneeli.
- Vajalik avatud pind – 68,7 m².
- Vajalik brutopindala – 75,6 m².
- Soojuse netotoodang aastas – 25116 kWh

Vaakumtorukollektor Sunrain TZ58/1800 24:

- 18 vaakumtorukollektori paneeli.
- Vajalik avatud pind – 40,3 m².
- Vajalik brutopindala – 68,2 m².
- Soojuse netotoodang aastas – 19080 kWh

Kuna päikesekollektorite terviksüsteem (torustik, pumbagrupp, automaatika, katusekinnitused, mahtboiler) ei sõltu kollektorite liigist – st. on sama nii vaakumtorukollektorite kui ja lamekollektorite korral, siis maksumuse erinevus tekib ainult kollektorite hinnast. Saamaks teada, milliseid päikesekollektoreid on optimaalsem paigaldada, küsiti hinnapakumist valikus olevatele päikesekollektoritele. Selgus, et vaakumtorukollektori ühe paneeli hind on lamekollektori omast hinnanguliselt 1,3 korda kallim. Eelnevalt välja selgitatud paneelide arvu alusel oleks terviksüsteemi maksumus 30 lamekollektori korral hinnanguliselt 18000 € ning 18 vaakumtorukollektori korral hinnanguliselt 16000 €. Soojuse toodang on 30 lamekollektori paneeli korral 1,3 korda suurem kui 18 vaakumtorukollektori korral. Järgnevalt on leitud soojuse toodang investeeritud € kohta mõlema valitud päikesekollektori tüübi korral.

Soojuse toodang investeeritud € kohta lamekollektorite korral:

$$\frac{25116 \text{ kWh}}{18000 \text{ € (+km)}} = 1,16 \text{ kWh/€} \quad (5.1)$$

Soojuse toodang investeeritud € kohta vaakumtorukollektorite korral:

$$\frac{19080 \text{ kWh}}{16000 \text{ € (+km)}} = 0,99 \text{ kWh/€} \quad (5.2)$$

Tulemustest on näha, et lamekollektorite kasutamine antud hoone soojusvarustussüsteemis annab odavama soojuse hinna kui vaakumtorukollektorite kasutamine. Sellest lähtuvalt otsustas projekteerija valida paigaldatavateks päikesekollektoriteks lamekollektorid Roth Heliostar 252.

5.2 Katla valik antud hoonele

Katla võimsuse valikul tuleb teha vastavalt hoone maksimaalsele soojuslikule võimsusele. Katla tooteseeria nomenklatuurist valitakse hoone soojuslikule võimsusele ligilähedase võimsusega katel. Soovitav on valida suurem võimsus kui on hoone soojuslik võimsus. [32]

Katla valikul antud hoone puhul lähtutakse eelnevalt peatükis 2.1 leitud hoone soojuslikust võimsusest, milleks on 257 kW. Kuna projekteeritavasse küttesüsteemi on mõeldud ka integreeritud päikesekollektorid tarbevee soojendamiseks, siis tuleb seda katla valikul arvestada. Eelnevalt on punktis 3.1.3 näha, et päikesekollektorite poolt toodetav soojus varieerub aastaringselt. Suvel on võimalik päikesekollektoritega katta kogu tarbevee soojendamine, kuid mõnel kuul aastast on päikesekollektorite toodang praktiliselt nullilähedane ning sooja tarbevee vajaduse peab katma katel.

Uus soojusallikas paigaldatakse olemasolevasse katlamajja. Vana õlikatel jääb alles ning seda ei demonteerita. Vana katlaruum eraldatakse uuest tuletõkkeseinaga. Uude katlaruumi jäävad alles vanad mahtboilerid (2 tk, 1600 l). Uue katlaruumi alla jääv pind on 75 m².

Projekteerija valis uue küttesüsteemi jaoks kaks pelletkütusel töötavat katelt. Üks katel katab baaskoormust ning teine katel katab tipukoormust juhul, kui päikesekollektorid ei taga piisavat tarbevee soojendamist ning külmemate ilmade korral, kui kütteks on vaja rohkem soojust. Katelde koormuse arvestamisel on lähtutud peatükis 2.1 leitud hoone soojuskoormuse graafikust. Uue projekteeritava süsteemi baaskoormusel töötav katel tagab 90 % tipukoormusest.

Projekteerija valis kateldeks Itaalia ettevõtte CT Pasqualicchio poolt toodetavad pelletkütusel töötavad katlad CS Marina 99 ning CS Marina 130. Antud katelde valiku põhjenduseks on projekteerija ning ehitaja eelnev kokkupuude antud toodetega.

5.3 Kütuse ladustamine (kütusemahutite suuruse valik)

Pelletkütuse hoiustamiseks on vajalik projekteerida ning ehitada kütuse ladu, et hoiustada arvestatavat kogust kütust vältimaks liiga sagedast kütusemahuti täitmist. Projekteeerija on valinud mahuti, mida tuleks tinglikult aastas täita 9-10 korda mahuti tervikmahu ulatuses. Kui arvestada, et pelletkütuse energiasisaldus on ca 3 MWh/ m³ ja pelletkütusel töötava katla aasta keskmine kasutegur on 0,85 %, siis arvutuslikul teel saadud kütuselao maht on järgmine: [32], [42]

$$\begin{aligned} \text{kütuselao maht} &= \frac{\text{hoone soojuse kulu}}{\text{katla kasutegur} \times \text{kütuse energiasisaldus} \times \text{täitmiste arv}} = \\ &= \frac{580 \text{ MWh}}{0,85 \cdot 3 \text{ MWh/m}^3 \cdot 9,5} = 24 \text{ m}^3 \end{aligned} \quad (5.3)$$

Leitud mahtuvusega ruumi ei ole võimalik antud hoonesse konstrueerida. Sellest tingituna otsustati paigaldada hoones asuva katlamaja kõrvale üheosaline kütusepunker, mis vastab eelnevalt leitud mahule.

Kuna katlaruumis (pindala 75 m²) on piisavalt vaba pinda, siis paigutatakse katlaruumi kütuse vahemahuti. Eesti standardi EVS 812-3:2013 (Ehitiste tuleohutus. Osa 3: Küttesüsteemid) kohaselt võib katlaruumis hoida kuni 0,5 m³ tahket kütust tihedalt sulguva kaanega mittepõlevas konteineris. [43]

6. UUS PROJEKTEERITAV SÜSTEEM JA SELLE KOMPONENDID

Järgnevas peatükis on vaadeldava hoone soojusvarustussüsteemi rekonstrueerimisprojekt integreeritud päikesekollektorite süsteemile ja pelletikatlamajale. Süsteemi valik on kooskõlas tellija lähteandmetega ning teostatud vastavalt tehnilis-majanduslikule analüüsile ning projektarvutustele. See sisaldab ülevaadet uue projekteeritava süsteemi lahendustest, koostoimimisest, hüdraulikast ning vajalikest põhiseadmetest ning lisa- ja abiseadmetest. Ülevaade antakse integreeritud päikesekollektorite ja pelletikatlamaja töökirjeldusest.

Uus projekteeritav süsteem koosneb kahest osast – päikesekollektoritest tarbevee soojendamiseks ning pelletküttesüsteemist hoone soojusvarustuse tagamiseks.

6.1 Päikesekollektorite süsteem

Paigaldatav päikesekollektorite süsteem jagatakse tinglikult kolmeks:

- Soojuse allikas – päikesekollektorid
- Salvestussüsteem ja tarbimine (soe vesi)
- Hüdrauliline süsteem

Hoone sooja tarbeveega varustamiseks paigaldatakse hoone katusele päikesekollektorid. Eelnevalt peatükis 5.1 tehtud analüüsi alusel valitakse 30 lamekollektori paneeli Roth Heliostar 252. Päikesekollektorid paigutatakse horisontaalselt ja ühendatakse vastavalt juhendile viie kaupa gruppidesse. Kokku on grupe 6 (vt. joonis LISA 1). Kui ühendada omavahel rohkem kui 5 kollektorit, ületab rõhukadu maksimaalse võimaliku piiri. [40], [51]

Antud juhul ühendatakse ühte gruppi 5 kollektorit ja järjestikku ritta 6 kollektorite gruppi. Hüdrauliline ühendus kollektorite vahel tehakse eripoolselt vastavalt Tichelmanni printsiibile. Sellega tagatakse, et iga kollektorigruppi läbib sama vooluhulk. Päikesekollektorite omavaheline hüdrauliline ühendus on näidatud joonisel LISA 5. Päikesekollektorite ühendusgruppide juures on näha, et Tichelmann-ühenduse jahedam toru tuleb soojussõlmest ja läheb edasi päikesekollektoritesse. Päikesekollektorite süsteemi torustik tuleb ehitada eelisoleeritud gofreeritud roostevabadest terastorudest, et torustik taluks kõrgeid temperatuure. Samuti tagab painduv isoleeritud toru kindla kvaliteedi ja mugavama vaheliideteta paigutuse. Päikesekollektorite süsteemi torustike läbimõõdud on näha

soojussõlme skeemil joonisel LISA 5. Torustike läbimõõdud arvutati vastavalt sertifikaadis toodud vooluhulkadele ja voolukiirustele. [37], [40], [48], [50], [51]

Eelnevalt punktis 3.1.2 kirjeldatu kohaselt on vajalik paigaldada päikeseenergia salvestussüsteem. 1 m² päikesekollektori avatud pinna kohta on vajalik minimaalne salvestusmaht 50-70 l. Antud süsteemis on kollektorite avatud pind 68,7 m² ning vajalik salvesti minimaalne maht oleks 3,4-4,8 m³. Antud hoones on olemas 2 1600 liitrise mahtuvusega sooja tarbevee mahtboilerit, mis annavad kokku salvestusmahu 3200 l. Selline maht ei ole täielikult piisav päikesekollektorite süsteemi jaoks ning vajalik on paigaldada veel üks 1600 l mahtboiler. Siiski esialgu uut mahtboilerit ei plaanita paigaldada, kuid projekteerimisel arvestatakse uue vajamineva salvestuse mahuga. Vanad mahtboilerid integreeritakse uue süsteemiga. [25], [26], [40], [49], [51]

Oluline on vältida olukorda, kus suvel intensiivsema päikesekiirguse korral võib sooja tarbevee temperatuur mahtboilerites tõusta üle 55 °C. Selleks, et sooja tarbevee süsteemi ei läheks kõrge temperatuuriga vett, on vaja mahtboileritest välja tulevale sooja tarbevee torule paigaldada termostaatiline automaatsegisti. Kui vesi on soojem ettenähtud temperatuurist, siis termostaatiline automaatsegisti lisab külma tarbevett ja reguleerib sooja tarbevee mahtboileritest väljuva vee temperatuuri. [51]

Päikesekollektorite süsteemi ringluspump valitakse vastavalt sertifikaadis olevatele andmetele. 30 päikesekollektori korral peab ringluspump tagama soojuskandja vooluhulga 0,7 l/s rõhukao juures 40,1 kPa. Projekteerija valis päikesekollektorite süsteemile ringluspumbaks Grundfos SOLAR UPS 25-120. [37], [40], [51]

Valitud pumba tehnilised parameetrid on järgmised: [52]

- Vedeliku temperatuur: +2 °C kuni +110 °C
- Maksimaalne töö rõhk: 10 bar
- Võimsusvahemik: 35-230 W
- Kiirus: püsikiirusega (1-2)
- Tõstekõrgus: kuni 12 m.

Päikesekollektorite süsteemi ja sooja tarbevee paakide vahele paigaldatakse plaatsoojusvaheti. See tähendab, et päikesekollektorite süsteem ja sooja tarbevee süsteem on eraldiseisvad kinnised kontuurid. Päikesekollektorite süsteemi ja plaatsoojusvaheti vahel ringleb soojuskandja, milleks on vee-glükooli lahus, mis on nii külmakindel kuid samas talub ka kõrget temperatuuri (100 °C). Plaatsoojusvaheti ja sooja tarbevee mahtboilerite vahel ringleb

soe tarbevesi. Vältimaks tarbevee talvist külmumist plaatsoojusvahetis, on päikesekollektorite süsteemi kontuurile paigaldatud külmumiskaitse, mille kaudu soojuskandja vedelik ringleb enne soojusvahetit. Sellega ei lasta madalaid temperatuure plaatsoojusvahetisse. Plaatsoojusvaheti võimsus on valitud 35 kW, täpsema valiku teeb ehitaja. Plaatsoojusvaheti võimsuse valikul on lähtunud kollektorite avatud pinnast ja vooluhulgast. [51]

Päikesekollektorite süsteemi töökirjeldus on järgnev: kui päikesekollektorite tagasivoolutorul oleva temperatuurianduri näit on 6 °C kõrgem kui mahtboilerite temperatuurianduri näit, siis automaatika relee käivitab päikesekollektorite kontuuri ringluspumba ning hakkab toimuma kõrgema temperatuuri ülekandmine madalamale temperatuurile. Kui temperatuuride vahe päikesekollektorite temperatuurianduri ja mahtboilerite temperatuurianduri vahel langeb alla 4 °C, siis päikesekollektorite kontuuri ringluspump seiskub ja laseb temperatuuril päikesekollektorite juures uuesti tõusta, et siis teatud aja möödudes uuesti proovida, kas temperatuur on tõusnud ning kas on võimalik soojust alla tuua mahtboileritesse. Kui enne plaatsoojusvahetit paikneva temperatuurianduri näit on 6 °C kõrgem kui mahtboilerite temperatuurianduri näit, siis automaatika relee käivitab sooja tarbevee kontuuri ringluspumba, mis viib soojuse mahtboileritesse. Kui temperatuuride vahe enne plaatsoojusvahetit paikneva temperatuurianduri ja mahtboilerite temperatuurianduri vahel langeb alla 4 °C, siis sooja tarbevee kontuuri ringluspump jääb seisma. Kogu protsessi reguleerib päikesekollektorite juhtkontroller. Selliselt toimides tagatakse süsteemi korrektne ja stabiilne töö ning välditakse süsteemis oleva vee keema minemist. [51]

Päikesekollektorite kontuurile paigaldatakse paisupaak mahtuvusega 150 l. Paisupaagi suuruse arvutamisel lähtunud süsteemi mahust ning soojuskandja omadustest. [40], [51]

6.2 Pelletküttesüsteem

Pelletikatlamaja põhilised seadmed on katlad, kütusemahutid ning kütuse etteandesüsteem, Lisaks pelletikatlamaja põhiseadmetele on projekteerimisel vaja ära määrata järgnev: [32], [43], [55]

- Suitsugaaside süsteem ja korsten
- Katlamaja hüdraulika ja torustik
- Põlemiseks vajalik õhk
- Plahvatuspind
- Ohutusseadmed ja tuleohutus
- Uue süsteemi toed ja kinnitused
- Reguleerimis- ja automaatikaseadmed
- Torustiku isolatsioon.

6.2.1 Valitud katlad ja nende tehnilised näitajad ning parameetrid

Vastavalt peatükis 5.2 tehtud analüüsile valis projekteerija uude plaanitavasse küttesüsteemi kaks katelt eelnevalt kirjeldatud ettevõtte CT Pasqualicchio toodangu CS Marina seeriast. Sellise ettevõtte toodangu valimine on tingitud projekteerija ning ehitaja eelnevast kokkupuutest antud kateldega. Valitud katlad tagavad eelnevalt peatükis 2.1 leitud hoone soojusliku võimsuse. Järgnevalt on välja toodud mõlema valitud katla tehnilised parameetrid.

CS99 Marina: [41]

- Nominaalvõimsus – 114,85 kW
- Maksimaalne võimsus – 136,88 kW
- Minimaalne võimsus – 34,45 kW
- Vee maht katlas – 235 l
- Kütteks väljastatava vee maksimaalne temperatuur – 85 °C
- Kütteks väljastatava vee minimaalne temperatuur – 50 °C
- Maksimaalne tööõhk – 3 bar
- Katla mass – 670 kg
- Katla suitsugaaside ühendus – 200 mm
- Elektriühendus katla tarbeks – 230 V, 50 Hz, 1000 W
- Integreeritud kütusemahuti – 200 l / 130 kg.

CS130 Marina: [41]

- Nominaalvõimsus – 150,8 kW
- Maksimaalne võimsus – 171,68 kW
- Minimaalne võimsus – 45,24 kW
- Vee maht katlas – 500 l
- Kütteks väljastatava vee maksimaalne temperatuur – 85 °C
- Kütteks väljastatava vee minimaalne temperatuur – 50 °C
- Maksimaalne töö rõhk – 3 bar
- Katla mass – 1120 kg
- Katla suitsugaaside ühendus – 300 mm
- Elektriühendus katla tarbeks – 230 V, 50 Hz, 1000 W
- Integreeritud kütuse mahuti – 600 l / 400 kg.

6.2.2 Paigaldatav kütusepunker katlamaja kõrval

Vastavalt peatükis 5.3 leitud kütuselao mahu järgi valitakse hoone kõrvale paigaldatav kütusepunker. Arvutuslik maht on 24 m³. Sellisele mahule vastavalt leiti Rootsi ettevõtte Mafa toodetav silotorn, mida saab edukalt kasutada kütusepunkrina antud pelletikatlamaja jaoks.

Mafa Outdoor modularsilo-B tehnilised andmed: [44]

- Laius – 2550 mm
- Pikkus – 2550 mm
- Kõrgus – 3,9-8,94 m
- Mahtuvus – 6,5-36,8 m³.

Vastavalt arvatud mahule valitakse kütusepunker mahtuvusega 24 m³ ja kõrgusega 7,5 m.



Sele 6.1. Valitud kütusepunker Mafa Outdoor modulsilo-B [44]

6.2.3 Paigaldatav kütuse vahemahuti katlaruumis

Katlaruumi paigaldatakse kütuse vahemahuti, mille mahtuvus on kooskõlas Eesti ehitiste tuleohutuse standardiga (vt. peatükk 5.3). Vahemahuti valitakse lähtudes katlaruumi seadmete paigutusest (vt. joonis LISA 2). Projekteerija valis kütuse vahemahutiks OPOP TANKDK-K, mille tehnilised andmed on: [45]

- Laius – 815 mm
- Sügavus 815 – mm
- Kõrgus – 1300 mm
- Mahutavus – ca 220 kg pelleteid.
- Kaal – 32,5 kg.



Sele 6.2. Valitud kütuse vahemahuti OPOP TANKDK-K [45]

6.2.4 Kütuse etteandesüsteem

Kütuse transportimiseks esmasest kütusepunkrist katla põlemiskambrisse kasutatakse kütuse etteandesüsteeme. Põlemiskambrisse viivad kütuse katla ja integreeritud kütusemahuti vahelised kruvitransportöörid. Eelnevalt valitud eraldiseisvate kütusemahutite vahele tuleb paigutada tigutransportöörid.

Pikem ja suurema võimsusega tigutransportöör paigaldatakse hoone kõrval asuva kütusepunkri ja katlaruumis asuva kütuse vahemahuti vahele, kus kütusepunkrist võetakse pelletkütus katlamaja eelpunkrisse, et hoida see pidevalt kütusega täidetud. Kuna antud tigutransportöör läbib välisseina, tuleb seinast läbiviik tihendada. Tigutransportöörile tuleb paigaldada automaatselt iseavanev termostaadiga veekustutusseade, mille ühendus veektorustikuga tuleb teha teraseset torude abil. [43]

Kaks väiksemat tigutransportööri paigaldatakse kütuse vahemahuti ja mõlema katla integreeritud kütusemahuti vahele. Kütuse vahemahutist liigub pelletkütus tigutransportööride kaudu katelde kütusemahutitesse ja sealt juba eelnevalt kirjeldatud seadmete abil põletisse.

Tigutransportööride pikkused on arvestatud katlaruumi lae järgi. Katlaruumi kõrgus on 3,1 m. Projekteerija arvestas, et katlaruumis paiknevate tigutransportööride ülemise osa

(mootorajami) ja seina vahele peab jääma vähemalt 30 cm vaba ruumi. Tigutransportööride pikkus on projekteerijal tinglikult arvestatud ning lõpliku valiku selle osas teeb ehitaja. Paigaldatavad tigutransportöörid on näha joonistel LISA 2, LISA 3 ning LISA 4. [1], [2] Kolme paigaldatava tigutransportööri vajalik elektriline võimsus on ligikaudu 140 W. [47] Seel 6.3 on näha näidet tigutransportöörist kütuse vahemahuti ja katla vahel.



Sele 6.3 Tigutransportöör katla ja kütusemahuti vahel [46]

6.2.5 Põlemiseks vajalik õhk

Põlemiseks vajaliku õhu koguse leidmisel arvutatakse 1 kg kütuse põlemisel teoreetiliselt vajalik õhu mahuline kogus. [75]

$$V^o = 0,0889 \cdot (C^t + 0,375 \cdot S^t) + 0,265 \cdot H^t - 0,0333 \cdot O^t, \quad (6.1)$$

kus

V^o – 1 kg kütuse põlemiseks teoreetiliselt vajaminev õhukogus normaaltingimustel (m^3/kg),

C^t – kütuse tarbimisaine süsinikusisaldus (%),

S^t – kütuse tarbimisaine väävlisisaldus (%),

H^t – kütuse tarbimisaine vesinikusisaldus (%),

O^t – kütuse tarbimisaine hapnikusisaldus (%).

Arvutuses on lähtutud kütuse elementaarkoostisest, mis on leitud puitpelletite laboratoorse analüüsi tulemusena, mille väljavõte on tabelis 6.1 [76]

Tabel 6.1. Väljavõte puitpelletite laboratoorsest analüüsist [76]

Proovi iseloomustus	puitpelletid (Austria)	
Proovi vastuvõtu kuupäev	22.05.2014	
Katse teostamise aeg	22.05-18.08 2014	
Määatav parameeter	476-14 Puitpellet	Standard
Niiskus	6,9%	EVS EN 14774
Tuhk (kuivaines) 550 °C juures	0,3%	EVS EN 14775
Tarbimisaine alumine kütteväärtus	17,41 MJ/kg	EVS EN 14918
Elementaaranalüüs (kuivaines)		
N	0,01%	Vario EL
C	48,9%	
S	0,01%	
H	6,6%	

$$V^o = 0,0889 \cdot (45,5 \% + 0,375 \cdot 0,0093 \%) + 0,265 \cdot 6,1 \% - 0,0333 \cdot 41,1 \% =$$

$$= 4,3 \text{ m}^3/\text{kg} \quad (6.2)$$

Reaalsetes tingimustes ei toimu kütuse täielik põlemine teoreetilise õhukoguse juures ning koldesse on vaja anda rohkem õhku. Põlemiseks tegelikult vajamineva õhuhulga leidmiseks kasutatakse liigõhutegurit, mille väärtus antud juhul on 1,2. [75], [77], [78]

$$V^t = \lambda \cdot V^o, \quad (6.3)$$

kus V^o – 1 kg kütuse põlemiseks teoreetiliselt vajaminev õhukogus normaaltingimustel (m^3/kg),

λ – liigõhutegur,

V^t – 1 kg kütuse põlemiseks tegelikult vajaminev õhukogus normaaltingimustel (m^3/kg).

$$V^t = 1,2 \cdot 4,3 \text{ m}^3/\text{kg} = 5,16 \text{ m}^3/\text{kg} \quad (6.4)$$

Tarbimisaine alumise kütteväärtuse ja katlamaja võimsuse järgi leitakse põlemiseks vajaliku õhu kogus, mis antud katlamaja korral on järgmine: [75], [76]

$$V = \frac{V^t \cdot P}{Q^t} = \frac{5,16 \text{ m}^3/\text{kg} \cdot 264000 \text{ J/s}}{17410000 \text{ J/kg}} = 0,078 \text{ m}^3/\text{s} \quad (6.5)$$

Põlemisõhu koguse järgi leitakse õhuava vajalik suurus kui õhu kiirus (v) läbi ava on 1 m/s.

$$A = \frac{V}{v} = \frac{0,078 \text{ m}^3/\text{s}}{1 \text{ m/s}} = 0,078 \text{ m}^2 \quad (6.6)$$

Kuna põlemisõhu ava on rest, siis on arvestatud on resti takistust ja välisõhu läbilaskevõimet. Katlaruumi on vaja minimaalselt 0,1 m² õhuava pinda. Projekteerija valis õhuavaks resti suurusega 0,2 m² õhu avtiipinnale. Ava mõõtmed: nelinurkse ava korral 50 cm X 40 cm, ümara ava korral diameeter 50 cm.

Oma konstruktsioonilt koosneb rest tugevasse raami kinnitatud kaldžalusiist, mis ei tohi olla suletav. Välisrest tuleb paigaldada välisseina nii, et see ei ohustaks talvisel ajal veetorstike külmumist ja suvisel ajal teetolmu sattumist katlamajja. [54], [55]

6.2.6 Suitsugaaside süsteem ja korsten

Suitsugaaside ühenduse ja korstna vajaliku läbimõõdu leidmiseks on tehtud põlemisgaaside mahukulu arvutus normaaltingimustel. Arvutuses on lähtutud kütuse elementaarkoostisest, mis on leitud puitpelletite laboratoorse analüüsi tulemusena (vt tabel 6.1) [76]

Arvutuses kasutatakse eelnevalt punktis 6.2.5 leitud põlemiseks teoreetiliselt vajaminevat õhukogust V^o ning liigõhutegurit λ .

Põlemisgaaside tegelikud hulgad: [33], [75]

$$V_{N_2} = (0,79 \cdot V^o + 0,08 \cdot N_2^t) + 0,79 \cdot (\lambda - 1) \cdot V^o, \quad (6.7)$$

kus V_{N_2} – põlemisgaasis olev tegelik lämmastiku maht (m³/kg),

N_2^t – kütuse tarbimisaine lämmastikusisaldus (%).

$$V_{N_2} = (0,79 \cdot 4,3 \text{ m}^3/\text{kg} + 0,08 \cdot 0,0093 \%) + 0,79 \cdot (1,2 - 1) \cdot 4,3 \text{ m}^3/\text{kg}) \\ = 4,1 \text{ m}^3/\text{kg} \quad (6.8)$$

$$V_{H_2O} = (0,111 \cdot H^t + 0,0124 \cdot W^t + 0,0161 \cdot V^o) + (0,0161 \cdot (\lambda - 1) \cdot V^o), \quad (6.9)$$

kus V_{H_2O} – põlemisgaasis olev tegelik veeauru maht (m^3/kg),

H^t – kütuse tarbimisaine vesinikusisaldus (%),

W^t – kütuse tarbimisaine niiskusesisaldus (%).

$$V_{H_2O} = (0,111 \cdot 6,1 \% + 0,0124 \cdot 6,9 \% + 0,0161 \cdot 4,3 \text{ m}^3/\text{kg}) + (0,0161 \cdot \\ \cdot (1,2 - 1) \cdot 4,3 \text{ m}^3/\text{kg}) = 0,85 \text{ m}^3/\text{kg} \quad (6.10)$$

$$V_{O_2} = (0,21 \cdot (\lambda - 1) \cdot V^o), \quad (6.11)$$

kus V_{O_2} – põlemisgaasis olev tegelik hapniku maht (m^3/kg).

N_2^t – kütuse tarbimisaine lämmastikusisaldus (%).

$$V_{O_2} = (0,21 \cdot (1,2 - 1) \cdot 4,3 \text{ m}^3/\text{kg}) = 0,18 \text{ m}^3/\text{kg} \quad (6.12)$$

$$V_{RO_2} = 0,01866 \cdot (C^t + 0,375 \cdot S^t), \quad (6.13)$$

kus V_{RO_2} – põlemisgaasis olev tegelik kolmeaatomiliste gaaside maht (m^3/kg),

C^t – kütuse tarbimisaine süsinikusisaldus (%),

S^t – kütuse tarbimisaine väävlisisaldus (%),

$$V_{RO_2} = 0,01866 \cdot (45,5 \% + 0,375 \cdot 0,0093 \%) = 0,85 \text{ m}^3/\text{kg} \quad (6.14)$$

Põlemisgaaside kogumaht normaaltingimustel: [33], [75]

$$V_g = V_{RO_2} + V_{O_2} + V_{H_2O} + V_{N_2} = 5,98 \text{ m}^3/\text{kg} \quad (6.15)$$

Vastavalt Gay-Lussaci seadusele ning ideaalse gaasi olekuvõrrandile leitakse põlemisgaaside kogumaht 1 kg kütuse kohta põlemisgaaside katlast väljumise temperatuuri juures, mis on 114 kW katla puhul võetud keskmiselt 140 °C ning 150 kW katla puhul 160 °C. [8], [32] [54], [79], [81], [82]

$$\frac{V_g}{T_g} = \frac{V_1}{T_1}, \quad (6.16)$$

kus T_g – Põlemisgaaside temperatuur normaaltingimustel (0 °C),

T_1 – Põlemisgaaside temperatuur katlast väljumisel,

V_1 – Põlemisgaaside kogumaht 1 kg kütuse kohta temperatuuri T_1 juures.

Põlemisgaaside kogumaht 1 kg kütuse kohta 14 kW katla korral on järgmine:

$$V_{1I} = \frac{V_g \cdot T_1}{T_g} = \frac{5,98 \text{ m}^3/\text{kg} \cdot 413,15 \text{ K}}{273,15 \text{ K}} = 9,04 \text{ m}^3/\text{kg} \quad (6.17)$$

Põlemisgaaside kogumaht 1 kg kütuse kohta 150 kW katla korral on järgmine:

$$V_{1II} = \frac{V_g \cdot T_1}{T_g} = \frac{5,98 \text{ m}^3/\text{kg} \cdot 433,15 \text{ K}}{273,15 \text{ K}} = 9,48 \text{ m}^3/\text{kg} \quad (6.18)$$

Vastavalt katelde maksimumvõimsusele ning kütuse tarbimisaine alumisele kütteväärtusele leitakse põlemisgaaside kogus V (m^3/s) ning kui arvestada suitsugaaside kiiruseks 6 m/s loomulikule tõmbele, leitakse korstna ristlõikepindala A (m^2) ning siseläbimõõt D (mm). [80]

Korstna ristlõikepindala on järgmine:

$$\begin{aligned} A &= \frac{(P_I + P_{II}) \cdot (V_{1I} + V_{1II})}{Q_t \cdot v} \\ &= \frac{(114000 \text{ J/s} + 150000 \text{ J/s}) \cdot (9,04 \text{ m}^3/\text{kg} + 9,48 \text{ m}^3/\text{kg})}{17410000 \text{ J/kg} \cdot 6 \text{ m/s}} = \\ &= 0,0468 \text{ m}^2 \end{aligned} \quad (6.19)$$

Korstna siseläbimõõt on järgmine:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot A_I}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0468 \text{ m}^2}{\pi}} = 0,244 \text{ m} \cong 244 \text{ mm} \quad (6.20)$$

Katla suitsugaaside ühendus on 114 kW võimsusega katlal 200 mm ja 150 kW võimsusega katlal 300 mm vastavalt tootja andmetele. 114 kW katla suitsugaasid lähevad 200 mm suitsutoru kaudu lae alla ja sealt edasi 150 kW katla poole, kus toimub ühinemine 300 mm suitsutoruga. Edasi läheb 250 mm suitsugaaside toru kuni korstnani, mis asub väljas otse katlamaja seina taga. Suitsugaaside toru ühendatakse korstna külge. Korstna puhul on tegemist metallmoodulkorstnaga, mis koosneb roostevabast terasest sisemisest suitsutorust siseläbimõõduga 250 mm, roostevabast terasest tehtud välimisest kestast ning nende vahel paiknevast tulekindlast isolatsioonikihist paksusega 20-50 mm. Korsten on projekteeritud ja dimensioonitud vastavalt kütteseadmetele ja kasutatavale kütusele, et tagada piisav tõmme, temperatuuritaluvus ning ohutustingimused. Korstna kõrgus peab olema vähemalt 12 m katlaruumi põrandast. Korstna alumises osas on kondensaadi puhastusluuk ja kondensaadi äravoolutoru. Korsten tuleb maandada. Korstna ja suitsukäikude projekteerimisel on lähtutud standardist EVS 812-3:2013. Korstna ja suitsugaaside süsteemi konstrueerimisel ja arvutamisel on kasutatud tarkvara Kesa-Aladin. [43], [53]

Suitsugaaside süsteem ja korsten on näha joonistel LISA 2, LISA 3 ning LISA 4.

6.2.7 Katlamaja hüdraulika ja torustik

Katlamaja on hüdrauliliselt seotud otse küttesüsteemiga, mille osa antud projektis ei käsitleta. Katlast väljuvad ja katlasse sisenevad torud on dimensioonitud lähtuvalt Eesti standardist EVS 844:2004 (Hoone kütte projekteerimine), mille kohaselt torustikus voolava vee kiirus ei tohi ületada 0,8 m/s. Soojuskandja temperatuuride vahe on 20 °C, vee erisoojus on 4187 J/(kg·K). Järgnevalt on leitud vee kulu järgi katlasse siseneva ning katlast väljuva toru siseläbimõõd mõlema katla puhul maksimaalsel võimsusel töötades. [6], [7]

114 kW katel:

$$G = 114000 \text{ W} / \left(4187 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 20 \text{ K} \right) = 1,36 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cong 0,00136 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad (6.21)$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,00136 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi \cdot 0,8 \text{ m/s}}} = 0,047 \text{ m} \cong 47 \text{ mm} \quad (6.22)$$

Sobililik toru on läbimõõduga DN 50.

150 kW katel:

$$G=150000 \text{ W} / (4187 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 20 \text{ K}) = 1,79 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cong 0,00179 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad (6.23)$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,00179 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi \cdot 0,8 \text{ m/s}}} = 0,053 \text{ m} \cong 53 \text{ mm} \quad (6.24)$$

Sobililik toru on läbimõõduga DN 60.

Tahkeküttekateldele on vaja paigaldada katlasse tagastuva vee temperatuuri tõstmise lahendus. Sellega tõstetakse tagasivoolu temperatuuri, et kaitsta katelt temperatuurišoki eest ning vältida kondensaadi tekkimist suitsukäikudes. Selleks lisatakse pump katlast väljuva ja katlasse tagastuva toru vahele suunaga tagasivoolutoru poole. Kui katlasse tagastuvas torus on lubatust väiksem temperatuur, siis lisatakse pumba käivitamisega sinna katlast väljuva torustiku vett, mis tõstab katlasse tagastuva vee temperatuuri. Katlamaja hüdrauliline skeem ja torude diameetrid on soojussõlme skeemi joonisel LISA 5.

Katlamaja süsteemi staatilise rõhu hoidmine toimub külma veega ja rõhuregulaatori abil. Süsteemi täiteveena tuleb kasutada pehmendatud vett. Selleks tuleb paigaldada automaatne veepehmenussüsteem.

Pelletkütusel töötava katlamaja ehitamisel kasutada keevitatud terastoru või õmbluseta terastoru. Kevitatud terastoru peab olema metallist Fe 360 BFN ja St 37 (DN 1626), õmbluseta toru peab olema metallist St 35, 8/1 (DIN 17 175). Torupõlved – St 35, 8/1 (DIN 17 175), samuti üleminekud ühelt läbimõõdult teisele. Äärikud Fe 360 BFN PN 16 (DIN 2633). Peenemaid torustikke võib teha keermesühendusega torudest (DIN 2441) järgi.

Torustikud kuni DN50 (kaasa arvatud) võib ühendada keermesühendustega, suuremad läbimõõdud keevisühendustega. Torustike soojuspaisumise reguleerimiseks kasutatakse tavaliselt torustikes esinevaid käändusid ja vajalikes kohtades nn. torukompensaatoreid. Vajalikes kohtades kasutada liikumatuid tugesisid. [54], [55]

6.2.8 Plahvatuspind

Katlaruum varustatakse kergete paiskpindadega, mis hoiavad plahvatuse korral ära ülerõhu tekke (üle 1 kPa). Katlaruumi välispiirdes peab olema 0,05 m² paiskpinda ruumi 1 m³ kohta. Katlamaja pind on 75 m² ja kõrgus 3,1 m. Katlaruumi on vaja 11,625 m² paiskpinda. Selleks on sobilikud katlaruumis olevad aknad, mille pinda on kokku 11,9 m². [32], [43], [55]

6.2.9 Ohutusseadmed ja tuleohutus

Põhiliseks ohutusseadmeks katlamaja juures on kaitseklapp, millega mõlemad katlad varustatakse. Kaitseklapid reguleeritakse rõhule 2 bar. Kaitseklappide väljavoolutorustik tuleb juhtida ohutusse kohta. Katla ning süsteemi tühjendustorustikud tuleb ühildada kanalisatsiooniga.

Paisumist antud projektis ei käsitleta kuna katlamaja on hüdrauliliselt seotud otse küttesüsteemiga, mida ei renoveerita.

Mõlemal katlal paigaldatakse põleti ja katla kütusemahuti vahele automaatselt iseavanev termostaadiga veekustutusseade, mille ühendus veetorustikuga tuleb teha teraseset torude abil ja see läheb veevõrku. Samasugune seade paigaldatakse ka välise kütusepunkri ja katlaruumis paikneva kütuse vahemahuti vahelisele tigutransportööri. [43], [55]

Tuleohutuse osas on projekteerimisel lähtutud Eesti Vabariigi standarditest.

Hoone, kus katlamaja asub, kuulub TP3 tulepüsivusklassi. Ehitise tuleohutusest tulenevalt kuulub hoone VI kasutusviisiga hoonete hulka, katlamaja kuulub 2. tuleohutusklassi – II katsetase. Katlamaja piirdekonstruktsioonide tuletundlikkus peab vastama seintel ja lagedel B-s1, d0 ja põrand A2fl-s1 nõuetele. Välisseina välispinna tuletundlikus peab vastama D-s2,d2 nõuetele. Olemasoleva hoone konstruktsioonid, kuhu katlamaja ehitatakse on silikaatkivist sise- ja välisseinad ning raudbetoonpaneelidest lagi.

Vastavalt normatiividele on katlamajas vaja esmaseid kustutusvahendid - 6 kg tulekustutit 50 m² katlamaja pinna kohta (pulber- või süsihappekustuti). Sellest tulenevalt on katlamajja vaja paigaldada 2 tulekustutit. Sisemiste tuletõrjebesikute vajadust ei ole. Tuletõrje veevarustus saadakse hoonest 90 m läheduses olevast tiigist, kus on tuletõrje veevõtukoht. Hoonesse tuleb paigaldada automaatne tulekahjusignalisatsioon. Hoonesse tuleb projekteeritava korstna otsa paigaldada piksekaitse. Suitsuärastus hoonest toimub loomulikul teel avatavate uste ja akende

kaudu. Katlamaja on automatiseeritud ning pidevat inimvalvet ei ole vaja. Tuletõkkekonstruktsioonis oleva ukse, akna ja muu väiksema avatäite ning tuletõkkekonstruktsioone läbivate tehnosüsteemide tulepüsivusaeg peab olema vähemalt 50% tuletõkkekonstruktsioonile ettenähtud tulepüsivusajast kusjuures avatäite pindala ei tohi olla suurem kui 40% tuletõkkekonstruktsiooni pindalast.

Tigutransportööri läbiviik välisseinast isoleerida kivivillaga, mille mahukaal on 100 kg/m³. Uus korsten on ette nähtud kahe pelletkütusel töötava katla teenindamiseks. Korsten peab olema katsetatud ja omama CE tähist. Suitsugaaside käigu ja korstna isoleerimiseks tuleb kasutada kivivilla spetsiaaltooteid (mahukaaluga 100 kg/m³ ja enam). Katlamaja tuletõkkesektsioonid on näidatud joonistel LISA 2, LISA 3 ning LISA 4. [43], [56], [57], [58], [59], [60]

6.2.10 Paigaldatava süsteemi toed ja kinnitused

Torustikud kinnitatakse ehituskonstruktsioonide külge kas kiilankrutega või montaažipüstoliga. Juhul kui küllaldane tugevus pole tagatud, tuleb toetuseks kasutada nurk- ja karpraudu. Kinnitusviis peab sobima kinnitatavate torustike läbimõõtudega. Toed ja konstruktsioonid ei tohi nõrgendada põhiehituskonstruktsioone. [43], [61], [62]

6.2.11 Reguleerimis- ja automaatikaseadmed

Vastavalt tellija soovile on katlamaja täielikult automatiseeritud ja inimvalvet ei ole. Sellest tulenevalt tuleb täita järgnevalt toodud nõudeid ja soovitusi.

Juhtautomaatika on varustatud alljärgnevate seadmetega: [41], [54], [55]

- Veetemperatuuri kontrollseade.
- Suitsugaaside temperatuuri kontrollseade.
- Kolde hõrenduse ja suitsugaaside hapniku andur.
- Katlavee ülerõhuandur
- Katlavee puudumise andur.
- Kolde ja toitesüsteemiga kokkupuute kohtadel sprinkler-andurid.
- Avarii signaali korral ühendus telefoni või GSM süsteemiga.

Ülal nimetatud andureid ja seadmeid kontrollib, kas kontrolleri või arvuti tarkvaraline programm, mis omakorda kasutab andurite parameetreid katla seadmete juhtimiseks. [41], [54]

6.2.12 Katlamaja torustiku isoleerimine

Torud ja seadmed tuleb monteerida nii, et kahe isoleeritud toru või isolatsiooni konstruktsiooni vahele jääb vähemalt 40 mm. Torustik tuleb isoleerida kivivilla koorikuga paksusega vähemalt 30 mm DN 50 toru puhul, paksusega vähemalt 40 mm DN 65-100 torude puhul ning paksusega vähemalt 50 mm DN 125 ja suurema mõõtmega torude puhul. Kivivilla kiht tuleb katta plekist kattega. Suitsugaaside käigud tuleb isoleerida 80 mm paksuse kivivillaga ja katta kattega või topelt toruga nagu eelsoleeritud korsten. Isolatsiooni- ja katematerjalid peavad vastama kehtivatele normidele ja eeskirjadele. Materjalidena tuleb kasutada klaasvilla ja kivivilla valmiselemente torustike isoleerimiseks vastavalt torude ja kanalite isolatsioonitootja soovitusel. Järgnevalt ei isoleerita kaitseventiili väljalöögitorusid, tühjendus-, õhutus-, manomeetrite ühendustorud ning paisupaagi torusid, reservuaaride ja seadmete tehnilist informatsiooni sisaldavate siltidega elemente, pumpasid. Isolatsiooni ja kattekihi materjalide omadused peavad täitma tulekindluse nõudeid. Isolatsioonmaterjal peab olema mittepõlev. Kattekihina tuleb kasutada tsingitud terasplekki, mis peab olema isolatsioonil hermeetiliselt siledapinnaline, vett mitteimav ja kergesti pestav.

6.3 Integreeritud süsteemi koostoimimine

Eelnevates peatükkides on kirjeldatud päikesekollektorite ja pelletküttesüsteemi eraldiseisvalt. Järgnevalt antakse ülevaade sellest, kuidas need kaks süsteemi omavahel koos toimivad ning mis on peamised aspektid, mida tuleb süsteemi terviklahendusel jälgida.

Integreeritud päikesekollektorite süsteem ja pelletküttesüsteem töötavad nii, et 2 pelletkütusel töötavat katelt soojendavad hoone keskküttesüsteemi (vesi-küttesüsteem). Päikesekollektorite süsteem soojendab hoones kasutuseks vajaminevat tarbevett. Eelnevalt uuritu ja kirjeldatu põhjal selgus, et päikesekollektorite süsteemi tootlikkus sõltub otseselt päikesekiirguse intensiivsusest ning alati ei kata päikesekollektorite poolt toodetav soojus kogu vajaminevat

soojushulka. Selleks peavad olema päikesekollektorite süsteem ja pelletküttesüsteem integreeritud, et puuduval hetkel saaks sooja tarbevett valmistada kateldega.

Põhiline, mida antud integreeritud süsteemi juures tuleb vältida on olukord, kus hommikuti tarbitakse mahtboileritest soe vesi ära ning siis katel kütab mahtboilerid uuesti üles. Seejärel tuleb päike välja ning kiirgusintensiivsus kasvab ning päikesekollektorid saaksid hakata tarbevett soojendama, aga katel on juba mahtboilerid üles soojendanud ning päikesekollektorite poolt genereeritavat soojust ei ole enam vaja. Sellise olukorra vältimiseks tuleb teha sooja tarbevee laadimine läbi automaatika, mis on kellaajaliselt seadistatud vastavalt siis päikesekiirguse intensiivistumisele. Arvesse tuleb võtta lisaks kiirguse intensiivsuse ööpäevasele erinevusele ka aastaringne erinevus. [51]

Päikesekollektorite ja pelletikatlamaja integreeritud süsteemi koostoimimise skeem on välja toodud joonisel LISA 5.

6.5 Projekteeritud süsteemi graafiline osa

Koostatud projekti graafiline osa on toodud käesoleva töö Lisade all. Graafiline osa sisaldab projekti jooniseid, mille põhjal teostatakse antud hoone soojusvarustussüsteemi rekonstrueerimine. Jooniste tegemiseks on kasutatud projekteerimistarkvara AutoCAD LT. [70]

Jooniste loetelu on järgmine:

- Katuse plaan
- Katlaruumi põhiplaan
- Lõige 1-1
- Lõige 2-2
- Soojussõlme skeem

KOKKUVÕTE

Käesoleva töö raames koostati Viljandi maakonnas paiknevale hooldekodule soojusvarustussüsteemi rekonstrueerimise põhiprojekt, et vahetada välja tehniliselt amortiseerunud soojusallikas. Töö koostati vastavalt tellija lähteülesandele ning soovile kasutada taastuvate energiaallikate poolt genereeritavat soojust ning mugavat ja automatiseeritud põletustehnoloogiat.

Enne projekti koostamist ja süsteemide valikut teostati tehnilis-majanduslik analüüs selgitamaks välja, millist soojusallikat on kõige otstarbekam kasutada. Autor võttis võrdlusesse järgnevad variandid: lame- ja vaakumtorukollektorid tarbevee soojendamiseks, pelletikatlamaja kütte ja sooja tarbevee tagamiseks, integreeritud süsteemi päikesekollektorite ning pelletikatlamajaga ning õhk-vesi soojuspump koos olemasoleva põlevkiviõli katlaga. Kõikide variantide korral leiti lihttasuvusaeg võrrelduna olemasoleva põlevkiviõli katla kasutamisega soojuse genereerimiseks. Analüüsi tulemusena selgus, et ainult pelletikatlamaja korral on lihttasuvusaeg 1,2 aastat, integreeritud süsteemi korral lamekollektorite puhul 1,7 ning vaakumtorukollektorite puhul 1,8 aastat ja õhk-vesi soojuspumba kasutamisel koostöös olemasoleva katlaga 2,9 aastat. Kõige odavama soojuse hinna väljaselgitamisel arvestati vaadeldava süsteemi investeeringu elueaks 20 aastat. Odavaima soojuse hinna andis integreeritud süsteem päikesekollektorite ja pelletikatlamajaga, mis nii lamekollektorite kui ka vaakumtorukollektorite puhul oli sama – 51,7 EUR/MWh. Pelletikatlamaja korral oli soojuse hinnaks 52,7 EUR/MWh ning õhk-vesi soojuspumba korral 72,5 EUR/MWh, mis on selles arvestuses konkurentsituult kõige kallim.

Autor otsustas uues projekteeritavas soojusvarustussüsteemis integreeritud päikesekollektorite ning pelletküttesüsteemi kasuks. Päikesekollektorite valikul leiti soojuse toodang investeeritud EUR-i kohta, mis lamekollektorite puhul oli 1,16 kWh/EUR ning vaakumtorukollektorite puhul 0,99 kWh/EUR. Seega on tehnilis-majanduslikult põhjendatud lamekollektorite kasutamine projekteeritavas süsteemis.

Koostatud soojusvarustussüsteemi rekonstrueerimise põhiprojekt sisaldas kõiki välja töötatud insenertehnilisi lahendusi uue süsteemi jaoks ning vajalikke teostusjooniseid, mille hulka kuulusid katlaruumi põhiplaan, katuse plaan, lõiked ning soojussõlme skeem. Projekteerimisel arvestati kõikide Eestis kehtivate standarditega ning tuleohutusnõuetega.

SUMMARY

The purpose of this thesis was to design a reconstruction project of the heat supply system of a nursing home located in Viljandi. Accordingly, the current project contains the replacement of a technically depreciated heat source. The project is based on client's terms of reference and request to use renewable energy source with comfortable and automated combustion technology.

First of all, before designing the new system the techno-economic analysis was made by the author to find out which heat source is most optimal to use. The author compared following versions: flat-plate and evacuated tube collectors in domestic hot water system, wood pellet system for heating and domestic hot water, integrated system with solar collectors and wood pellet burner, air-to-water heat pump with existing shale oil burner. For each option, the profitability was calculated and compared to the circumstance where heat was generated by existing shale oil burner. Techno-economic analysis revealed that the payback period for wood pellet system is 1,2 years. For integrated system with flat-plate collectors and wood pellet burner it is 1,7 years. For integrated system with evacuated tube collectors and wood pellet burner it is 1,8 years. 2,9 years for payback period is for air-to-water heat pump integrated with existing shale oil burner. For finding out which system gives the lowest price of heat, the calculation was based on a 20 year lifetime for the investment. As seen from the results, an integrated system with both types of collectors and wood pellet burner gives the lowest heat price which was 51,7 EUR/MWh. For wood pellet burner it was 52,7 EUR/MWh and for air-to-water heat pump it was 72,5 EUR/MWh which is the most expensive.

According to the calculations, the author decided to choose the integrated system with solar collectors and wood pellet burner. To select the solar collector type, the heat production per invested EUR was calculated for comparison which respectively was 1,16 kWh/EUR for flat-plate collector and 0,99 kWh/EUR for evacuated tube collector. Therefore, it is techno-economically recommended to use flat-plate collectors.

The reconstruction project of the heat supply system included all elaborated technical solutions and detailed drawings such as layout of the boiler room, layout of the roof, sections and the scheme of boiler room. The process of designing was considered within Estonian safety requirements, regulations and standards.

KASUTATUD ALLIKAD

1. Tellija poolt antud lähteandmed
2. Leping OÜ Energiapartner ja projekti Tellija vahel
3. Vares, V, Kask, Ü, Muiste, P, Pihu, T, Soosaar, S, „Biokütuse kasutaja käsiraamat“, Tallinn 2005. TTÜ Kirjastus. Lk. 85.
4. Kõiv, T.A, Loigu, E, „Eesti kraadpäevad“, Tallinn 2006. TTÜ Keskkonnatehnika Instituut.
5. Riigi Teataja teadaanne RTL 1997, 137, 0, Soojusvarustuse kulude arvestamise ja jaotamise meetodika [WWW] <https://www.riigiteataja.ee/akt/12930302> (18.03.2015)
6. Konspekt aines „Soojusvarustussüsteemid“, A. Hlebnikov
7. Engineering Toolbox kodulehekülg [WWW] http://www.engineeringtoolbox.com/water-density-specific-weight-d_595.html (18.03.2015)
8. Ots, A. „Soojustehnika aluskursus“, Tallinn 2011. Lk. 37.
9. Tanning, L. „Maailma energia ülevaade“, Tallinn 2010. Lk. 104.
10. Tanning, L. „Maailma energia ülevaade“, Tallinn 2010. Lk. 105.
11. What Is Solar Energy? [WWW] <http://whatsolarenergy.net> (18.03.2015)
12. Energy Information Administration kodulehekülg [WWW] <http://www.eia.gov> (26.09.2013)
13. Solar Panels Plus [WWW] <http://www.solarpanelsplus.com/all-about-solar/how-solar-heating-works> (08.05.2014)
14. Solarhomeenergy's Weblog [WWW] <http://solarhomeenergy.wordpress.com> (08.05.2014)
15. Solar Thermal Energy [WWW] http://courses.engr.illinois.edu/npre201/webproject/projects_2008/Klenck%20and%20Basu/SolarThermalWebPage_files/Page324.htm (08.05.2014)
16. Soletek OÜ kodulehekülg [WWW] <http://www.soletek.eu/Tooted> (18.03.2015)
17. Flat Plate Solar Collectors [WWW] http://www.flasolar.com/active_dhw_flat_plate.htm (18.03.2015)
18. Soletek OÜ kodulehekülg [WWW] <http://www.soletek.eu/Lamekollektorid> (18.03.2015)
19. Tomson, T. „Helioenergeetika“, Tallinn 2000. Lk. 41.

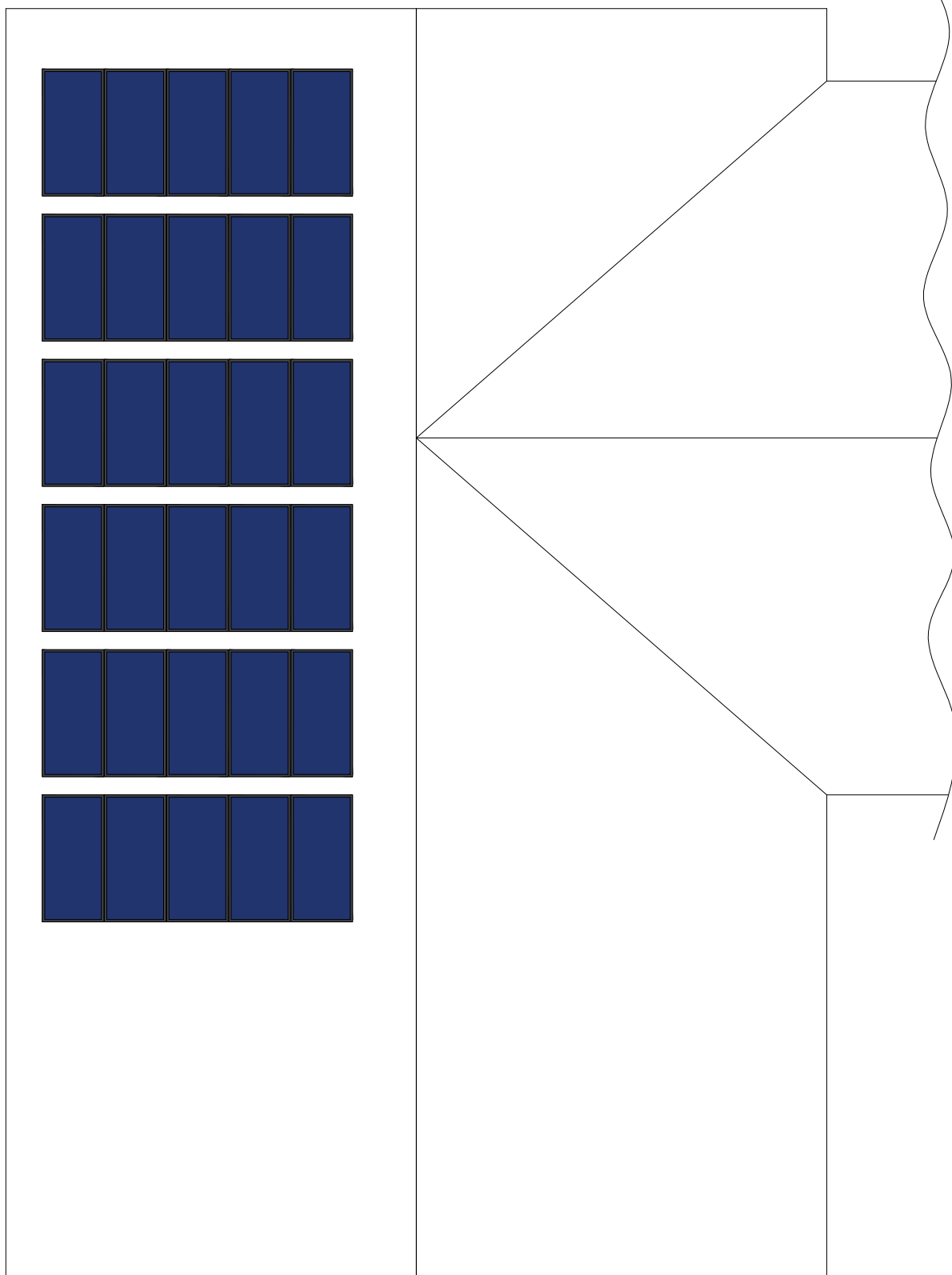
20. Tomson, T. „Helioenergeetika“, Tallinn 2000. Lk. 41-44.
21. Konspekt aines „Soojus- ja massileviseadmed“, A. Vrager
22. Keskkonnatehnika otsustajate ja asjatundjate ajakiri [WWW]
<http://www.keskkonnatehnika.ee/?head=2&pageid=278&language=estonian>
 (18.03.2015)
23. Mahjouri, F. Vacuum Tube Liquid Vapor (Heat Pipe) Collectors. [Online] Thermo Technologies (18.03.2015)
24. Home Power kodulehekülg [WWW] <http://www.homepower.com/articles/solar-water-heating/equipment-products/solar-collectors-behind-glass> (18.03.2015)
25. Volker-quaschnig kodulehekülg [WWW] <http://www.volker-quaschnig.de/index.php>, <http://www.volker-quaschnig.de/articles/fundamentals4/index.php> (18.03.2015)
26. Akrom-Ex OÜ kodulehekülg [WWW]
<http://www.akromex.com/2012/#.U2eR7qKODiw> (18.03.2015)
27. ESTIF kodulehekülg [WWW] <http://www.estif.org>,
<http://www.estif.org/solarkeymarknew/index.php> (18.03.2015)
28. ESTIF kodulehekülg [WWW] <http://www.estif.org/solarkeymark/collector-theory.php>
 (18.03.2015)
29. Solar Pro kodulehekülg [WWW] <http://solarprofessional.com/articles/design-installation/optimizing-thermal-collector-tilt-angles> (18.03.2015)
30. Solarpartner kodulehekülg [WWW] <http://solarpartner.ee/paikesest/tootlikkus>
 (18.03.2015)
31. Pinn, M. Pinn, R. Pinn, M. „Elekter päikesest ja tuulest“, Tallinn 2012.
32. Konspekt aines „Katlatehnika“, A. Paist
33. Konspekt aines „Kütused ja põlemisteooria“, A. Paist
34. Skierus Farm kodulehekülg [WWW] <http://skierusfarm.lt/biokuras> (18.03.2015)
35. Pellergy LLC kodulehekülg [WWW] <http://www.pellergy.com/wood-pellet-heating-systems> (18.03.2015)
36. HOMER Energy kodulehekülg [WWW] <http://www.homerenergy.com> (21.03.2015)
37. Päikesekollektori tehniline informatsioon. The Solar Keymark sertifikaat DIN CERTCO 011-7S819 F
38. Päikesekollektori tehniline informatsioon. The Solar Keymark sertifikaat DIN CERTCO 011-7S164 R

39. Sunrain kodulehekülg [WWW] <http://en.sunrain.com/SolarCollector> (22.03.2015)
40. Roth Solar Systems Heliostar 252 paigaldaja käsiraamat [WWW] <http://www.roth-usa.com> (22.03.2015)
41. CT Pasqualicchio kodulehekülg [WWW] http://www.ctpasqualicchio.it/eng/index.php?option=com_virtuemart&view=productdetails&virtuemart_product_id=107&Itemid=319 (24.03.2015)
42. AS pelletiküte kodulehekülg [WWW] <http://www.pellet.ee/est/pelletid/pelletite-kvaliteet-ja-omadused> (24.03.2015)
43. Ehitiste tuleohutus. (2013) Osa 3: Küttesüsteemid: Eesti standard EVS 812-3:2013. Tallinn: Eesti Standardikeskus.
44. Mafa kodulehekülg [WWW] http://www.mafa.se/?page_id=2056&lang=en (24.03.2015)
45. OÜ Küttemeister kodulehekülg [WWW] http://www.kyttemeister.ee/index.php?page=325&action=show_product_details&product_id=87&group_id=219 (24.03.2015)
46. OPOP kodulehekülg [WWW] <http://www.opop.cz/en-kotle-peletove-black-star-komfort.php> (24.03.2015)
47. OÜ Küttemeister kodulehekülg [WWW] http://www.kyttemeister.ee/index.php?group_id=302&page=325 (24.03.2015)
48. Saksakeelne vaba entsüklopeedia [WWW] <http://de.wikipedia.org/wiki/Tichelmann-System> (25.03.2015)
49. Kõiv, T.A, Rant, A, „Hoonete küte“, Tallinn 2013. TTÜ Kirjastus. Lk. 325.
50. OÜ SunHeat kodulehekülg [WWW] <http://www.sunheat.ee/?go=kuidasehitada> (25.03.2015)
51. Viessmann-i käsiraamat „Planungshandbuch Solarthermie“, Viessmann Deutschland 2008.
52. Grundfos paigaldaja käsiraamat, 4. väljaanne [WWW] <http://www.sanistal.ee/fileadmin/baltics/EE/Heating.pdf> (25.03.2015)
53. Kesa-Aladin kodulehekülg [WWW] <http://www.kesa.de/> (25.03.2015)
54. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe käsiraamat „Handbuch Bioenergie-Kleinanlagen“, Viessmann Deutschland 2013.
55. Hoone kütte projekteerimine. (2004): Eesti standard EVS 844:2004. Tallinn: Eesti Standardikeskus.

56. Riigi Teataja määrus VV 27.10.2004 nr 315 „Ehitisele ja selle osale esitatavad tuleohutusnõuded“ [WWW] <https://www.riigiteataja.ee/akt/12866223> (26.05.2015)
57. Piksekaitse. (2011) Osa 3: Ehitisele tekitatavad füüsilised kahjustused ja oht elule: Eesti standard EVS-EN 62305-3:2011. Tallinn: Eesti Standardikeskus.
58. Ehitiste tuleohutus. (2012) Osa 6: Tuletõrje veevarustus: Eesti standard EVS 812-6:2012. Tallinn: Eesti Standardikeskus.
59. Ehitiste tuleohutus. (2011) Osa 4: Tööstus- ja laohoonete ning garaažide tuleohutus: Eesti standard EVS 812-4:2011. Tallinn: Eesti Standardikeskus.
60. Maa-ameti geoportaal. Eesti kaart [WWW] <http://geoportaal.maaamet.ee> (26.05.2015)
61. Riigi Teataja seadus RT I 2002, 49, 309 „Surveseadme ohutuse seadus“ [WWW] <https://www.riigiteataja.ee/akt/SOS> (26.05.2015)
62. Riigi Teataja määrus VV 28.06.2002 nr 30 „Nõuded surveseadme töödele“ [WWW] <https://www.riigiteataja.ee/akt/197530> (26.05.2015)
63. Riigi Teataja määrus VV 08.10.2012 nr 63 Lisa 4 „Hoonete energiatõhususe arvutamise meetodika“ [WWW] https://www.riigiteataja.ee/akt/lisa/1181/0201/2001/MKM_m63_lisa4.pdf (28.05.2015)
64. Riigi Teataja määrus VV 08.10.2012 nr 63 „Hoonete energiatõhususe arvutamise meetodika“ [WWW] <https://www.riigiteataja.ee/akt/118102012001> (28.05.2015)
65. Rosin, A, Link, S, Drovtar, A, „Energia lokaalse tootmise analüüs büroohoonele, Osa I, Taastuvenergialahendused“, Tallinn 2013. TTÜ
66. Konspekt aines „Soojuspumbad“, A. Dedov
67. AS Eesti Energia kodulehekülg [WWW] <https://www.energia.ee/arved> (31.03.2015)
68. Nemanova, V, Abedini, A, Liliedahl, T, Engvall, K, „Co-gasification of petroleum coke and biomass, Fuel 117“, 2014. Lk. 870–875
69. Link, S, Arvelakis, S, Paist, A, Martin, A, Liliedahl, T, Sjöström, K, „Atmospheric fluidized bed gasification of untreated and leached olive residue, and co-gasification of olive residue, reed, pine pellets and Douglas fir wood chips. Applied Energy 94“, 2012. Lk. 89–97
70. Autodesk kodulehekülg [WWW] <http://www.autodesk.com/products/autocad-lt/overview> (08.04.2015)
71. Kõiv, T.A, Rant, A, „Hoonete küte“, Tallinn 2013. TTÜ Kirjastus. Lk. 300.
72. Kõiv, T.A, Rant, A, „Hoonete küte“, Tallinn 2013. TTÜ Kirjastus. Lk. 311.

73. Ait Nord kodulehekülg [WWW] <http://ait-nord.ee/ohk-vesi-soojuspump-eelised-paigaldus-isearasused-ja-muu-oluline/> (25.04.2015)
74. AIR/WATER Heat Pumps paigaldaja käsiraamat [WWW] http://www.alpha-innotec.de/fileadmin/sap/DE/A0010/83054400cDE_BA_LW_140-310%20180H.pdf (25.04.2015)
75. Kull, A, Mikk, I, Ots, A, „Soojustehnika käsiraamat“, Tallinn 1966.
76. Puidu pelletite analüüs. Protokoll nr. 476-14. 22.05.2014-18.08.2014
77. Verma, V. K, Bram, S, Gauthier, G, De Ruyck, J, Biomass and Bioenergy. [Online] Performance of a domestic pellet boiler as a function of operational loads: Part-2 (23.05.2015)
78. Verma, V. K, Bram, F, Dellatin, P, Laha, Vandendael, I, Hubin, A, De Ruyk, J, Biomass and Bioenergy. [Online] Performance of a domestic pellet boiler as a function of operational loads: Part-2 (23.05.2015)
79. Konspekt aines „Termodünaamika I“, A. Siirde, I. Krupenski
80. Veski, A, „Katelseadmed“, Tallinn 1991.
81. KWB kodulehekülg [WWW] http://www.kwb-heating.co.uk/fileadmin/media/Globale_Inhalte/VertriebService/Downloads/TP_EN_2015/TP_Pelletfire_Plus_2015_EN.pdf (26.05.2015)
82. KWB kodulehekülg [WWW] http://www.kwb-heating.co.uk/fileadmin/media/Globale_Inhalte/VertriebService/Downloads/TP_EN_2015/TP_Powerfire_2015_EN.pdf (26.05.2015)

PÄIKESEKOLLEKTORID

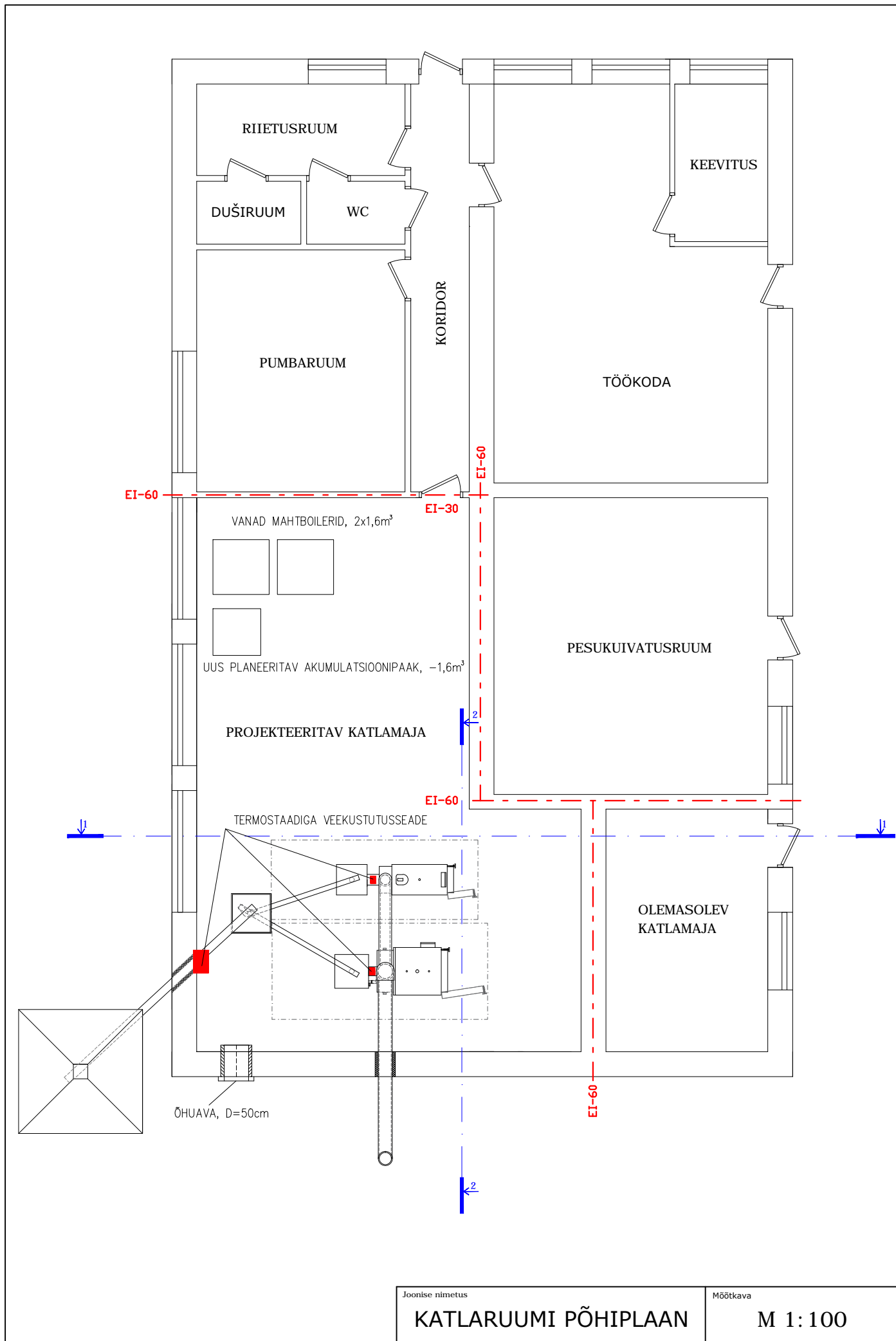
30 tk; 75,6 m² (brutopindala)

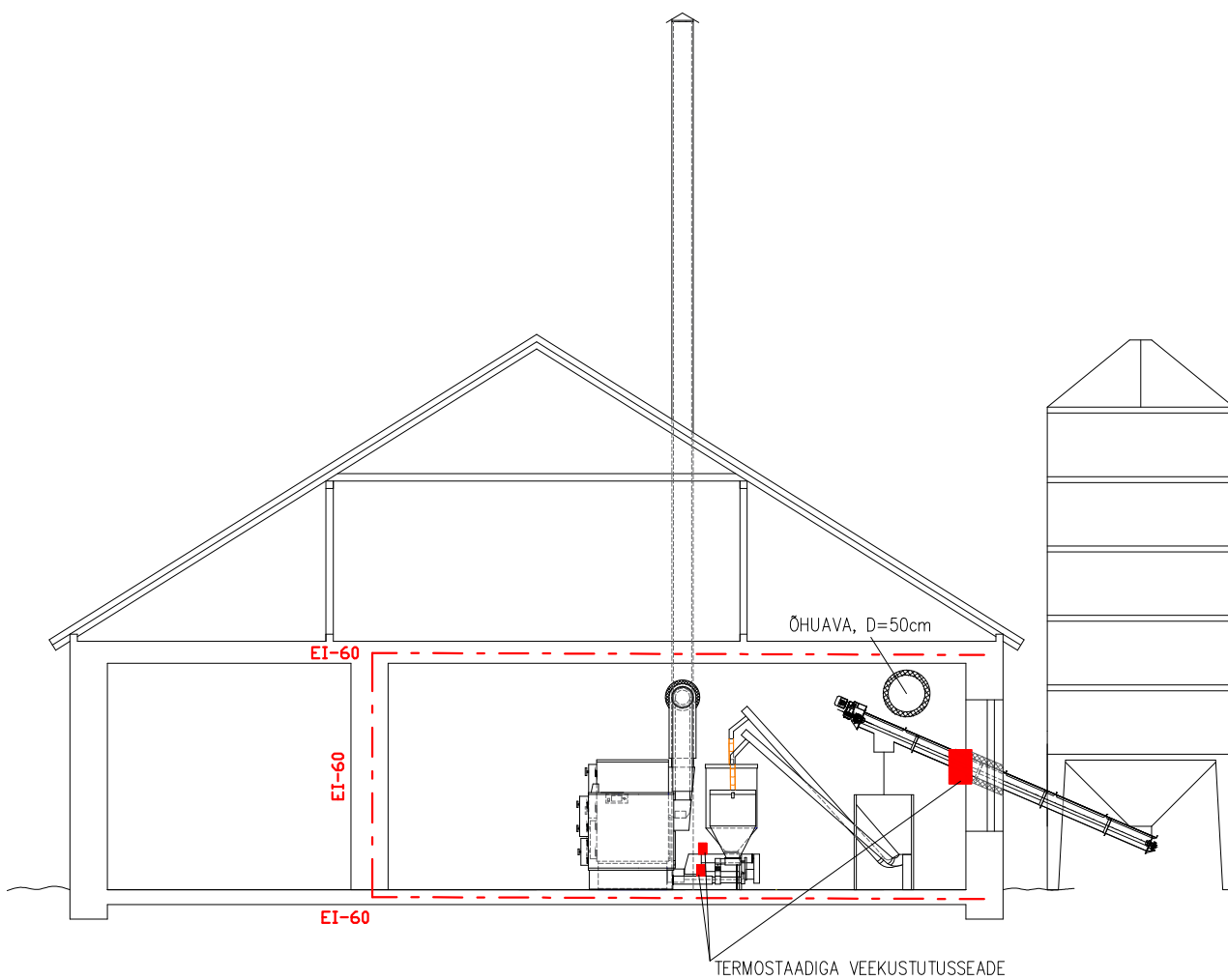
Joonise nimetus

KATUSE PLAAN

Mõõtkava

M 1:100





Joonise nimetus

LÕIGE 1-1

Mõõtkava

M 1:100

